Gouvernement du Québec
Ministère de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation

NORMES DE CONCEPTION ET D'EXÉCUTION POUR LES TRAVAUX DE CONSERVATION ET GESTION DU SOL ET DE L'EAU

AVRIL 1990

ISBN 2-551-12418-2
Dépôt légal - 2e trimestre 1990
Bibliothèque nationale du Québec

92-00362/

NORMES DE CONCEPTION ET D'EXÉCUTION POUR LES TRAVAUX DE CONSERVATION ET GESTION DU SOL ET DE L'EAU

Comité de révision:

Rémi Asselin, ingénieur et agronome
Yvon Brochu, ingénieur
Luc Dubreuil, ingénieur
Denis Maud, ingénieur

Dessins et figures:

Denis Brière
Pierre Caron

Édition:

Service de mise en valeur des sols agricoles
Denis Maud, ingénieur
Marie-France Anctil, secrétaire
Lise Gendron, secrétaire

NORMES DE CONCEPTION ET D'EXÉCUTION POUR LES TRAVAUX DE CONSERVATION ET GESTION DU SOL ET DE L'EAU

TABLE DES MATIERES

Avant-propos

Chapitre 1	Débit de pointe et volume d'eau ruisselée pour les très petits bassins versants
Chapitre 2	Défrichement
Chapitre 3	Épierrement
Chapitre 4	Aménagement de fossés
Chapitre 5	Abaissement de buttes et comblement de dépressions
Chapitre 6	Identification et défonçage des couches indurées naturelles et des couches de texture fortement contrastante
Chapitre 7	Modelage de terrain et aplanissement du sol
Chapitre 8	Établissement d'une voie d'eau engazonnée
Chapitre 9	Aménagement de structures pour l'évacuation ou le captage des eaux de ruissellement
Chapitre 10	Stabilisation des sites d'érosion hydrique
Chapitre 11	Établissement de brise-vent
Chapitre 12	Étang pour irrigation
Chapitre 13	Traverse à gué

Avant-propos

En avril 1987, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation publiait le cahier des "Normes de conception et d'exécution pour les travaux d'améliorations foncières et de conservation et gestion des sols" afin de s'assurer que les travaux subventionnés soient exécutés en respectant des normes minimales.

Ce document a été révisé de façon à mettre davantage l'accent sur une des cibles du ministère:

LA CONSERVATION DES RESSOURCES
des richesses à protéger

La deuxième édition a donc pour titre: "Normes de conception et d'exécution pour les travaux de conservation et gestion du sol et de l'eau". Elle reprend en partie les informations de la première en mettant davantage l'emphase sur la conservation des ressources. De plus, des chapitres ont été ajoutés afin de tenir compte des nouvelles structures de protection que nous recommandons.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la révision de ce document qui deviendra sans doute une excellente source de référence pour le personnel de notre Ministère, les professionnels de l'entreprise privée, les entrepreneurs et les exploitations agricoles.

Le Sous-ministre adjoint
Production et Affaires régionales

André Vézina

ANDRÉ VÉZINA

CHAPITRE 1

DÉBIT DE POINTE ET VOLUME D'EAU RUISSELÉE POUR LES TRÈS PETITS BASSINS VERSANTS.

DÉBIT DE POINTE ET VOLUME D'EAU RUISSELÉE POUR LES TRES PETITS BASSINS VERSANTS

Auteurs: Mario Laroche, ingénieur, M. Sc.
Raymond Bernier, ingénieur
Laurent Prévost, ingénieur et agronome

TABLE DES MATIERES

		PAGE
1.1	Domaine d'application	1-3
1.2	Définitions	1-3
1.2.1	Récurrence	1-3
1.2.2	Précipitation	1-4
1.2.3	Débit de pointe	1-5
1.2.4	Volume d'eau ruisselée	1-5
1.3	Calcul du débit de pointe	1-5
1.3.1	Méthode rationnelle	1-5
1.3.2	Nomogramme de Mike White	1-7
1.3.3	Comparaison entre les différentes méthodes	1-8
1.4	Calcul du volume d'eau ruisselée	1-8
1.4.1	Logiciel Version 3	1-9
1.4.2	Nomogramme de Mike White	1-9
1.5	Conclusion	1-10
Tableau 1.1	Récurrence recommandée en conservation du sol et de l'eau	1-11
Annexes A-1	Pluies maximales probables d'une durée de 6 heures pour le Québec	1-12
B-1	Facteur de conversion pour des pluies d'une durée autre que 6 heures	1-19
C-1	Utilisation du nomogramme de Mike White	1-22
D-1	Etude comparative de différentes méthodes d'évaluation des débits de pointe	1-29

1.0 DÉBIT DE POINTE ET VOLUME D'EAU RUISSELÉE POUR LES TRES PETITS BASSINS VERSANTS

1.1 DOMAINE D'APPLICATION

La conception d'un ouvrage de contrôle de l'écoulement des eaux exige au départ de connaître le débit de pointe qu'il faudra évacuer, ou le volume d'eau qu'il faudra emmagasiner et contrôler advenant un évènement pluvieux majeur sur une superficie agricole à protéger. Le débit de pointe et le volume d'eau ruisselée évalués pour un évènement donné sont déterminés à partir de plusieurs caractéristiques propres à un bassin versant. Ces caractéristiques sont la superficie, la pente, le parcours maximal de l'eau à partir du point le plus éloigné du bassin jusqu'à l'exutoire, l'utilisation de la superficie, le sol, etc. Il existe une multitude de modèles mathématiques, basés sur ces caractéristiques, visant à évaluer le plus justement possible le débit de pointe et le volume d'eau ruisselée.

Ce chapitre se consacre uniquement à l'évaluation du débit de pointe et du volume d'eau ruisselée pour les très petits bassins versants, c'est-à-dire des bassins versants ayant une superficie inférieure à 1 km^2. Cette évaluation débute par le choix d'une récurrence.

1.2 DÉFINITIONS

1.2.1 RÉCURRENCE

La récurrence ou période de retour représente la réciproque de la probabilité que survienne un événement donné. La récurrence est exprimée en année. A titre d'exemple, un événement d'une récurrence de 10 ans signifie que cet évènement surviendra probable-

ment une fois sur une période de 10 ans.

Le choix de la récurrence doit tenir compte des lois et règlements s'appliquant à la structure projetée, du risque inhérent au bris de l'ouvrage, de l'espérance de vie économique, des coûts de construction et des frais d'entretien. Les récurrences généralement acceptées pour les ouvrages et les structures aménagées dans un cadre de conservation du sol et de l'eau sont présentées au tableau 1.1.

1.2.2 PRÉCIPITATION

L'annexe A.1 montre les pluies maximales probables d'une durée de 6 heures pour la province de Québec et pour des récurrences de 2, 5, 10, 25, 50 et 100 ans. La précipitation est définie comme étant la pluie maximale probable correspondant à une hauteur d'eau précipitée, exprimée en millimètres, pour une durée donnée et en fonction d'une récurrence choisie.

Le calcul d'une pluie maximale probable d'une durée autre que 6 heures s'effectue à partir d'un facteur de conversion appliqué à une pluie de 6 heures. L'annexe B-1 montre les facteurs de conversion pour le calcul d'une pluie maximale probable d'une durée autre que 6 heures. Des exemples de calcul sont présentés au bas des graphiques. La pluie maximale probable ainsi calculée, devient la pluie de projet.

1.2.3 DÉBIT DE POINTE

Le débit de pointe représente le débit maximum instantané au sommet d'un hydrogramme pour un bassin versant et une pluie de récurrence donnés.

1.2.4 VOLUME D'EAU RUISSELÉE

Le volume d'eau ruisselée est la hauteur d'eau précipitée multipliée par le coefficient de ruissellement et par la superficie du bassin versant.

1.3 CALCUL DU DÉBIT DE POINTE

Le débit de pointe pour un petit bassin versant peut être calculé selon plusieurs méthodes, toutes discutables sur le plan pratique. Ces méthodes découlent de modèles mathématiques empiriques et donnent un ordre de grandeur du débit de pointe pour une récurrence donnée et un bassin versant donné. Pour les besoins qui concernent les mesures de conservation du sol et de l'eau dans la conception des travaux d'améliorations foncières, deux méthodes ont été retenues, soient: la méthode rationnelle avec le temps de concentration calculé selon la formule développée par Mockus, et le nomogramme de Mike White. Une étude comparative de ces deux méthodes par rapport à quelques autres démontre que le choix retenu est satisfaisant (voir paragraphe 1.3.3).

1.3.1 MÉTHODE RATIONNELLE

La méthode rationnelle, qui date de 1889, est encore très utilisée aujourd'hui à travers le monde, malgré ses lacunes. C'est une méthode simple qui est valable pour de très petits bassins versants (< 1 km^2).

Cette méthode repose sur les hypothèses suivantes:

1- précipitation uniforme et constante sur l'ensemble du bassin;
2- durée de précipitation égale au temps de concentration du bassin versant;
3- coefficient de ruissellement constant sur l'ensemble du bassin;
4- pluie d'une récurrence donnée engendrant un débit de pointe de même récurrence.

Une des plus grandes difficultés d'application de la formule rationnelle réside dans la détermination du temps de concentration du bassin versant. Le temps de concentration est évalué par une formule empirique. Il existe une dizaine de ces formules d'évaluation à travers le monde. Celles utilisées au Québec en drainage agricole sont: Kirpich, Bransby-Williams et Mockus. Il semble que le temps de concentration calculé par la formule de Mockus donne les meilleurs résultats pour calculer le débit de pointe par la méthode rationnelle, selon l'étude comparative présentée en 1.3.3

La formule rationnelle s'écrit comme suit:

$$Q_p = C\ I\ A\ /\ 360$$

Qp: débit de pointe (m^3/s);
C : coefficient de ruissellement;
I : intensité de la précipitation (mm/h);
A : superficie du bassin versant (ha).

L'intensité de la précipitation correspond au rapport de la pluie de projet d'une durée égale au temps de

concentration, sur le temps de concentration. Pour plus de détails sur les formules utilisées dans l'application de la méthode rationnelle, veuillez vous référer au rapport accompagnant le logiciel sur l'évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants (version 3). Ce rapport s'intitule: "Les cours d'eau en milieu agricole, design et conception assistés par ordinateur, Tome 1: Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants, deuxième édition".

Ce logiciel peut être utilisé pour évaluer le débit de pointe d'un très petit bassin versant (< 1 km^2), en retenant les résultats calculés par la méthode rationnelle avec le temps de concentration calculé selon la formule développée par Mockus.

1.3.2 NOMOGRAMME DE MIKE WHITE

Monsieur Mike White, ingénieur du Service américain de conservation des sols du Maine, a développé un nomogramme permettant d'évaluer le débit de pointe d'un petit bassin versant à partir de la pente, de la superficie, du potentiel de ruissellement moyen CN et d'une pluie de 24 heures pour une récurrence donnée.

Ce nomogramme permet d'évaluer de façon simple et rapide le débit de pointe et le ruissellement pour une pluie de 24 heures. Il est utilisé au Maine depuis 10 ans par l'équipe de Mike White. Il a été élaboré à partir des tableaux de débits de pointe du "Field Manuel for Conservation Practices" du Service américain de conservation des sols, eux-mêmes construits à partir de mesures prises sur plusieurs

milliers de petits bassins versants de caractéristiques diverses et soumis à différentes précipitations. Ces tableaux sont utilisés par le Service américain de conservation des sols à travers les États-Unis. La méthode d'utilisation du nomogramme de Mike White est présentée en détail à l'annexe C-1.

1.3.3 COMPARAISON ENTRE LES DIFFÉRENTES MÉTHODES

Dans le cadre d'un projet de conservation des sols à l'Ile d'Orléans, une étude exhaustive de différentes méthodes d'évaluation des débits de pointe a été réalisée. A titre de comparaison, 5 méthodes sont retenues, soient: la méthode Cook, le nomogramme de Mike White, la méthode Standard ASAE, la méthode rationnelle avec le temps de concentration calculé selon Mockus et la méthode rationnelle avec le temps de concentration calculé selon Bransby-Williams. Ces méthodes ont été appliquées sur 4 superficies-types de bassin versant pour 4 récurrences et pour 3 pentes moyennes de bassin versant. L'annexe D-1 présente les résultats des calculs.

Cette étude comparative fait ressortir les similitudes entre les résultats obtenus par le nomogramme de Mike White et la méthode rationnelle avec un temps de concentration calculé selon Mockus.

1.4 CALCUL DU VOLUME D'EAU RUISSELÉE

Le débit de pointe est nécessaire pour la conception d'une canalisation. Par contre lorsqu'il faut emmagasiner, il est nécessaire de connaître le volume d'eau ruisselée. Le volume d'eau ruisselée dans un bassin versant est le produit de la

hauteur d'eau ruisselée par la superficie du bassin versant. La hauteur d'eau ruisselée est le produit de la hauteur d'eau précipitée provenant d'une pluie maximale probable (annexes A-1 et B-1) par le coefficient de ruissellement.

1.4.1 LOGICIEL VERSION 3

Le logiciel sur l'évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants décrit précédemment, offre la possibilité de calculer le volume d'eau ruisselée. Ce volume est calculé à partir d'un temps de concentration de référence choisi par le concepteur. Le temps de concentration choisi correspond à la durée de la pluie maximale probable retenue pour la conception d'un ouvrage. Cette pluie maximale probable ainsi déterminée sert à établir le volume d'eau ruisselée.

En général, une durée de pluie de 24 heures, pour les calculs de volume d'eau ruisselée, donne des résultats satisfaisants. Les chapitres traitant des différents ouvrages de conservation du sol et de l'eau peuvent recommander des durées de pluie autres que 24 heures. Cette durée peut varier en fonction de la capacité d'emmagasinement du site et de la résistance de la culture à l'inondation.

1.4.2 NOMOGRAMME DE MIKE WHITE

Le nomogramme de Mike White permet d'évaluer la hauteur d'eau ruisselée pour une pluie maximale probable de 24 heures. Cette valeur, multipliée par la superficie du bassin versant, nous donne le volume d'eau ruisselée.

1.5 CONCLUSION

Deux outils de calculs pour évaluer le débit de pointe et le volume d'eau ruisselée ont été présentés dans ce chapitre. Ces outils permettent de faire une évaluation satisfaisante du débit de pointe et du volume d'eau ruisselée pour la conception d'un ouvrage de conservation et gestion du sol et de l'eau.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

Tableau 1.1 Récurrence recommandée en conservation du sol et de l'eau

	SITUATIONS ou STRUCTURES	RÉCURRENCE RECOMMANDÉE
1-	Dommages mineurs, plaine inondable restreinte, cultures extensives (foin), fossés*	5 ans
2-	Plaine inondable importante, cultures à haute valeur, inondation de bâtiments de ferme autres qu'élevage et entreposage, fossés*	10 ans
3-	Voies d'eau engazonnées, terrasses et fossés*	10 ans
4-	Petites structures de contrôle ou de stabilisation	10-25 ans
5-	Structures majeures de contrôle en béton ou maçonnerie, inondation de bâtiments d'élevage et d'entreposage	25-50 ans
6-	Structures majeures de contrôle en béton ou maçonnerie, inondation près des concentrations de résidences.	100 ans

*Selon la valeur commerciale de la culture, prendre 2, 5, ou 10 ans comme période de récurrence.

ANNEXE A-1

PLUIES MAXIMALES PROBABLES
D'UNE DURÉE DE 6 HEURES POUR LE QUÉBEC

Source: FERLAND M.-G. ET GAGNON R.-M., Atlas de hauteur, fréquence et durée des pluies au Québec méridional, Ministère de l'Environnement du Québec, deuxième édition, publication MP-51, Québec, 1974.

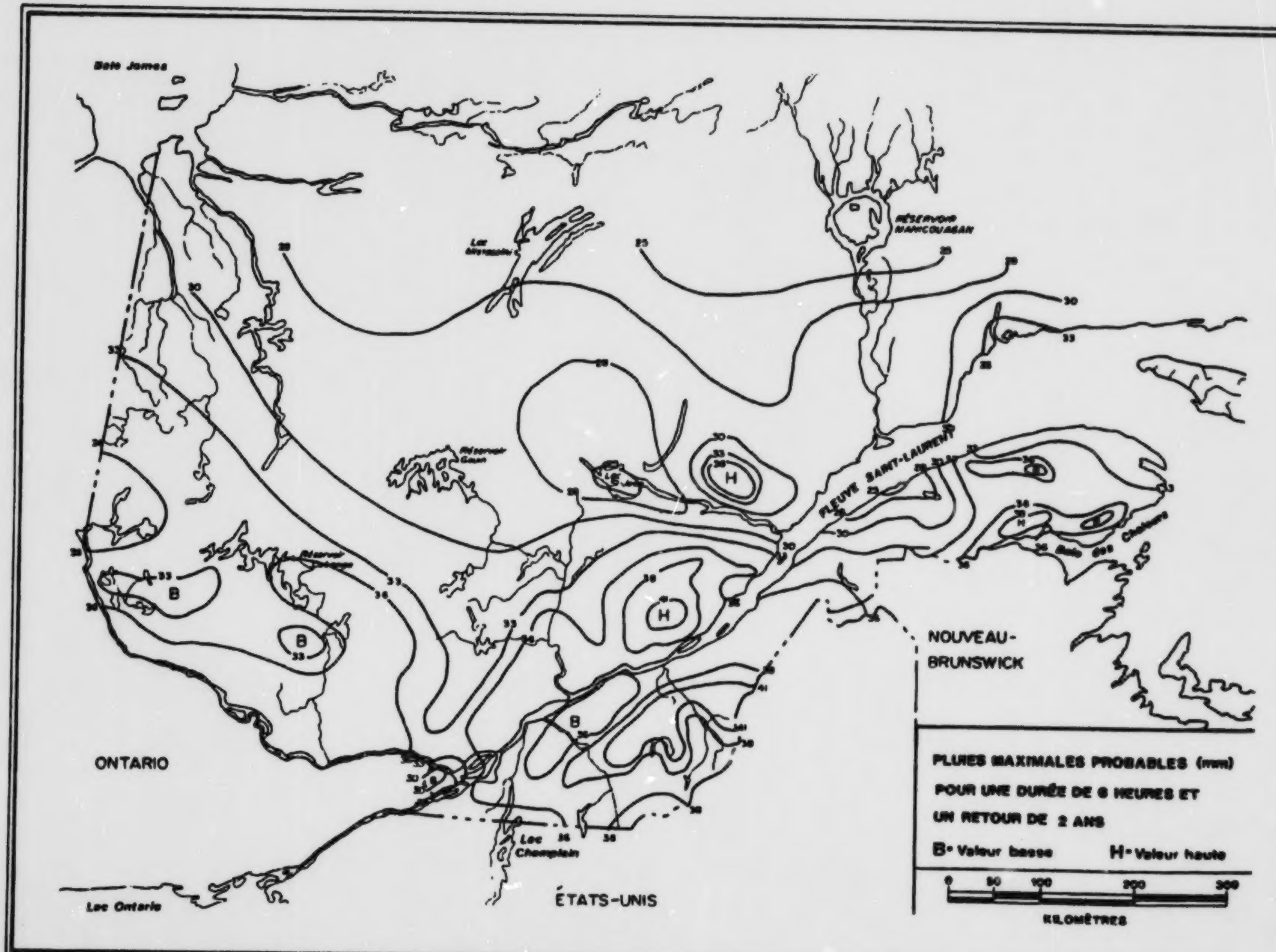

Baie James
Réservoir Manicouagan
Fleuve Saint-Laurent
Baie des Chaleurs
NOUVEAU-BRUNSWICK
ONTARIO
Lac Champlain
ÉTATS-UNIS
Lac Ontario
PLUIES MAXIMALES PROBABLES (mm) POUR UNE DURÉE DE 6 HEURES ET UN RETOUR DE 2 ANS
B= Valeur basse
H= Valeur haute
0 50 100 200 300
KILOMÈTRES

Figure A-1.1

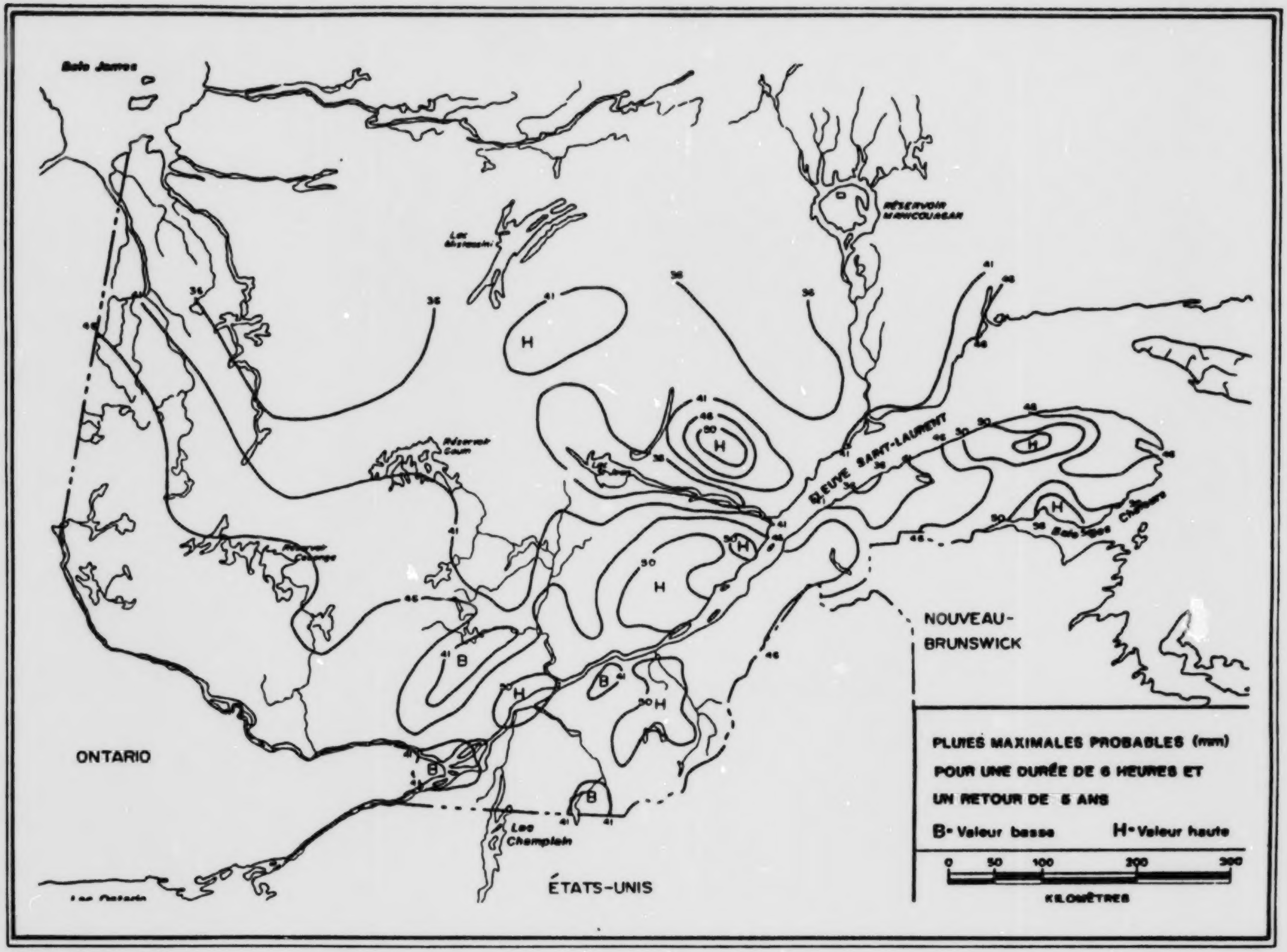

Baie James
Lac Mistassini
RÉSERVOIR MANICOUAGAN
Réservoir Gouin
FLEUVE SAINT-LAURENT
NOUVEAU-BRUNSWICK
ONTARIO
ÉTATS-UNIS
Lac Champlain
PLUIES MAXIMALES PROBABLES (mm)
POUR UNE DURÉE DE 6 HEURES ET
UN RETOUR DE 5 ANS
B- Valeur basse
H- Valeur haute
0 50 100 200 300
KILOMÈTRES

Figure A-1.2

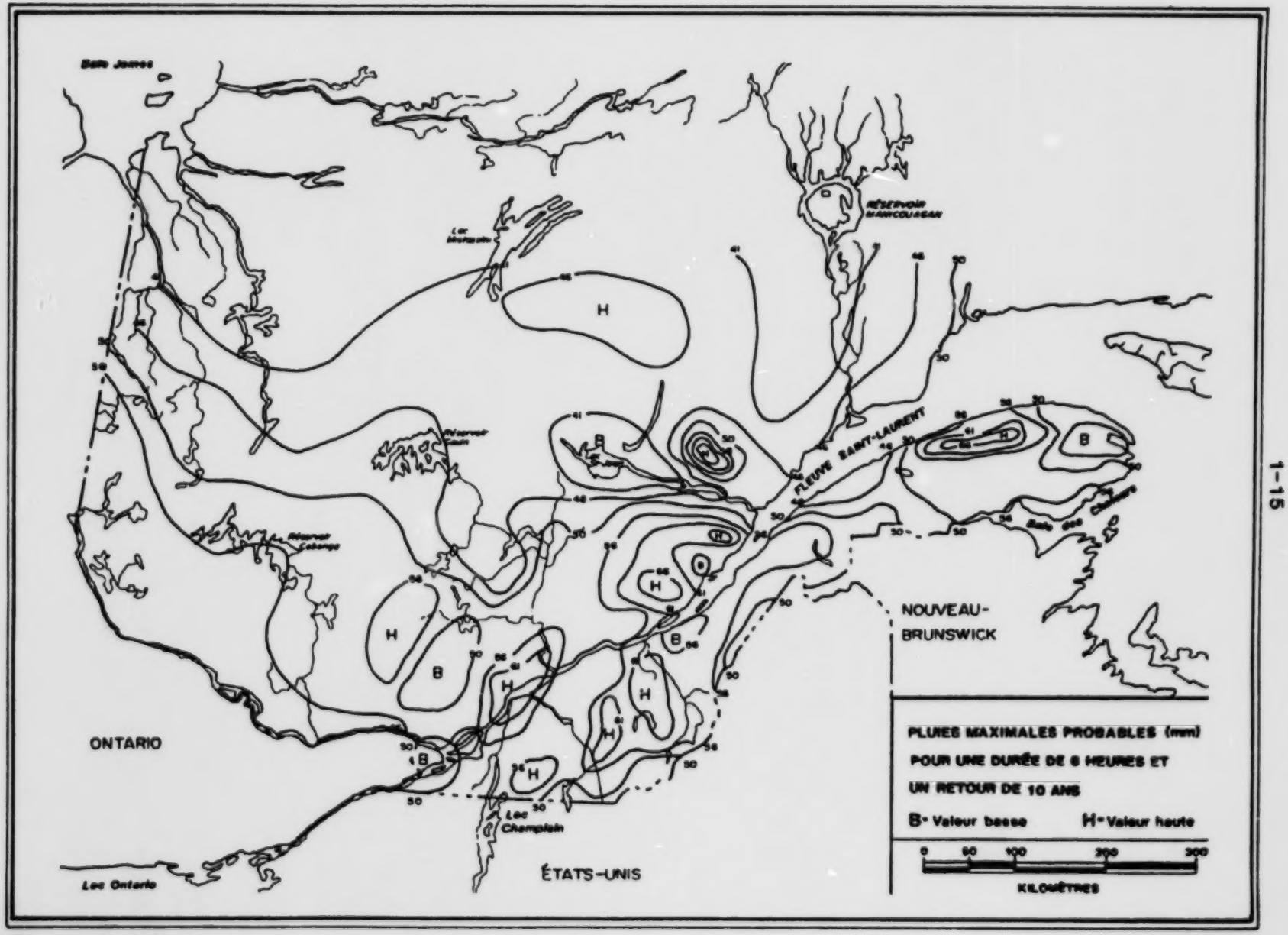

Baie James
Lac Mistassini
RÉSERVOIR MANICOUAGAN
FLEUVE SAINT-LAURENT
NOUVEAU-BRUNSWICK
ONTARIO
ÉTATS-UNIS
Lac Champlain
Lac Ontario
PLUIES MAXIMALES PROBABLES (mm)
POUR UNE DURÉE DE 6 HEURES ET
UN RETOUR DE 10 ANS
B= Valeur basse
H= Valeur haute
0 50 100 200 300
KILOMÈTRES

Figure A-1.3

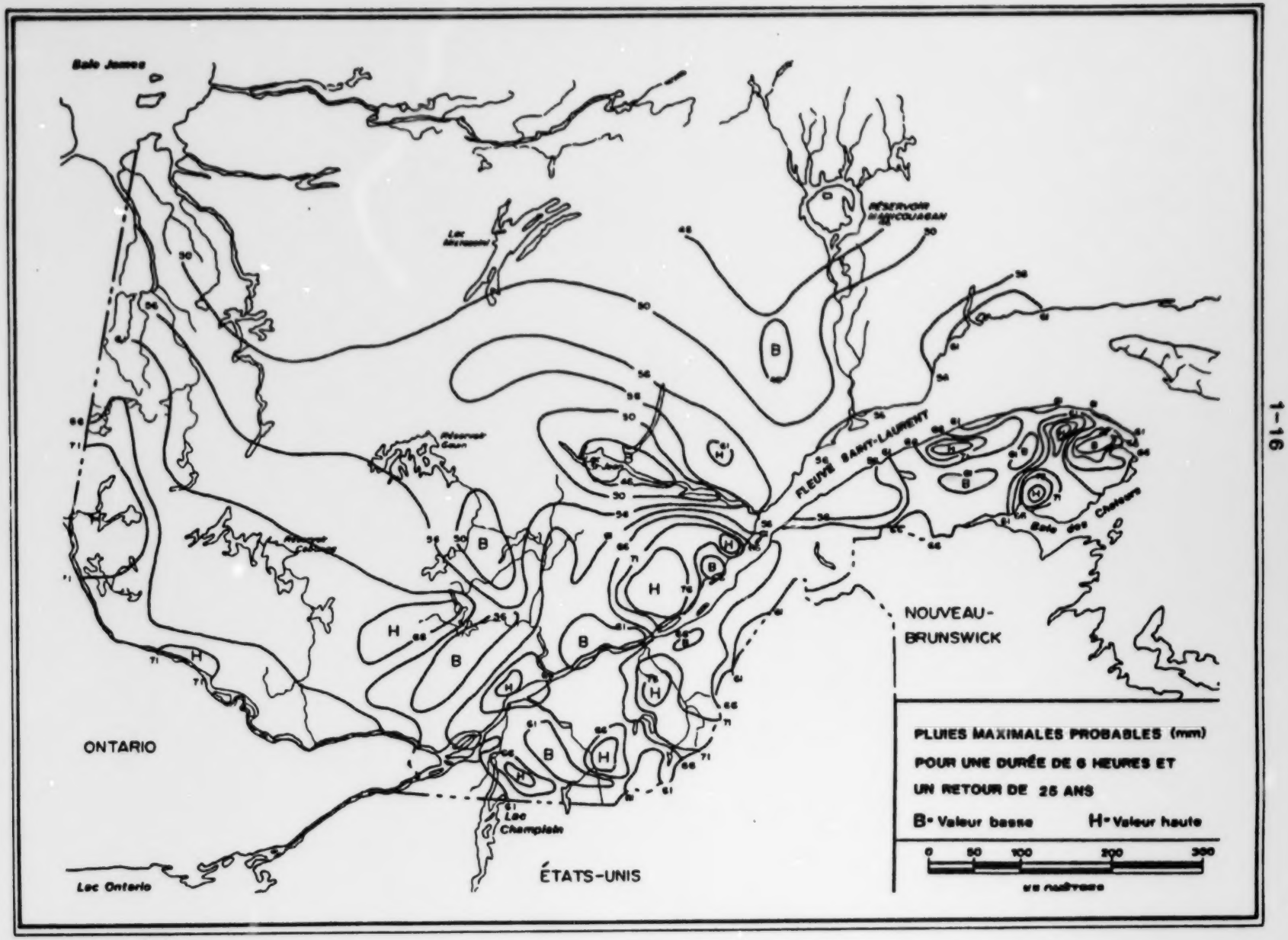

Baie James
Lac Mistassini
Réservoir Manicouagan
Réservoir Gouin
Réservoir Cabonga
FLEUVE SAINT-LAURENT
Baie des Chaleurs
NOUVEAU-BRUNSWICK
ONTARIO
Lac Champlain
ÉTATS-UNIS
Lac Ontario
PLUIES MAXIMALES PROBABLES (mm)
POUR UNE DURÉE DE 6 HEURES ET
UN RETOUR DE 25 ANS
B= Valeur basse
H= Valeur haute
0 50 100 200 300
échelle

Figure A-1.4

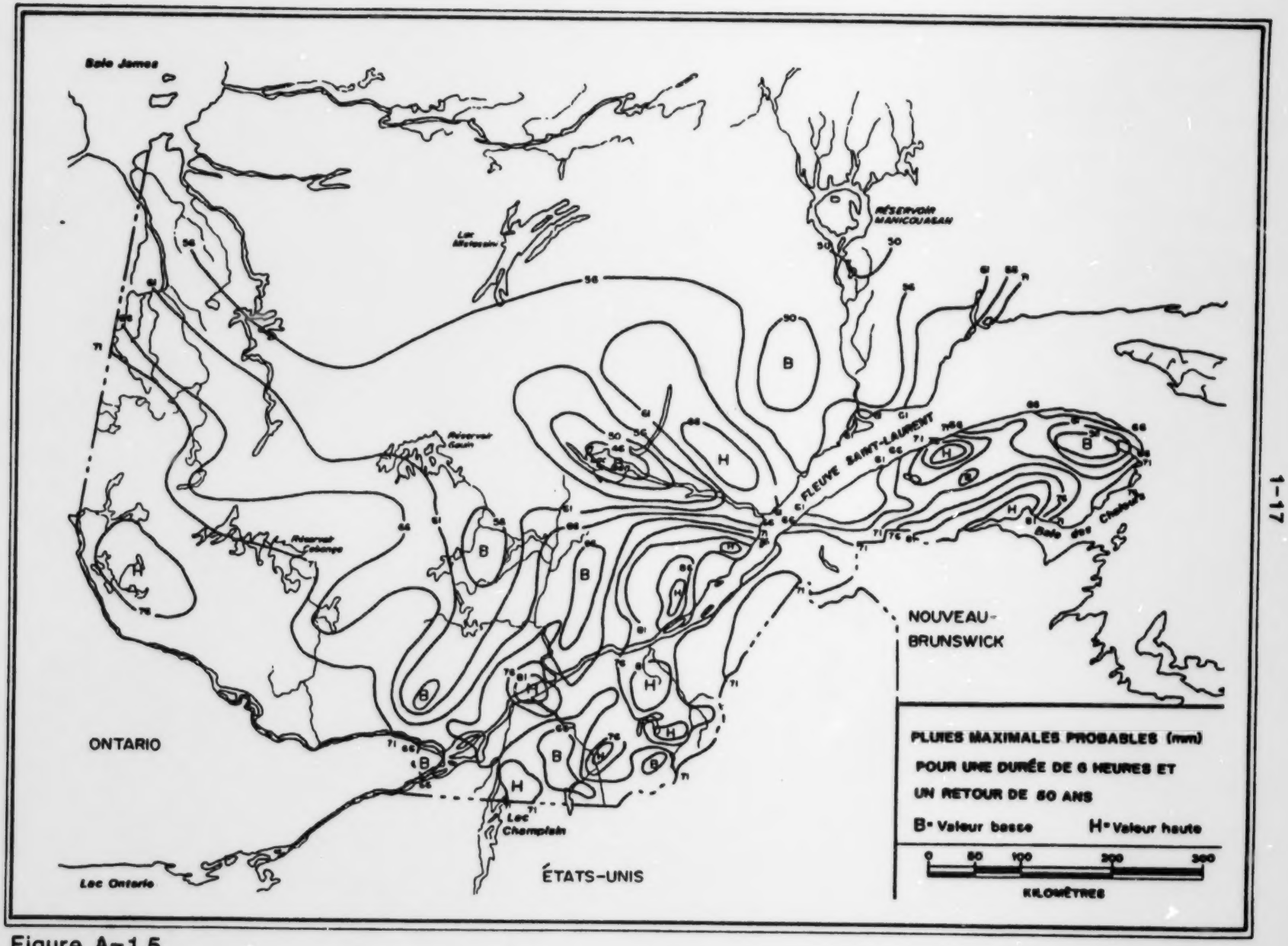

Baie James
Lac Mistassini
RÉSERVOIR MANICOUAGAN
Réservoir Gouin
Réservoir Gouin
FLEUVE SAINT-LAURENT
Baie
Chaleurs
NOUVEAU-BRUNSWICK
ONTARIO
Lac Champlain
ÉTATS-UNIS
Lac Ontario
PLUIES MAXIMALES PROBABLES (mm)
POUR UNE DURÉE DE 6 HEURES ET
UN RETOUR DE 50 ANS
B= Valeur basse
H= Valeur haute
0 50 100 200 300
KILOMÈTRES

Figure A-1.5

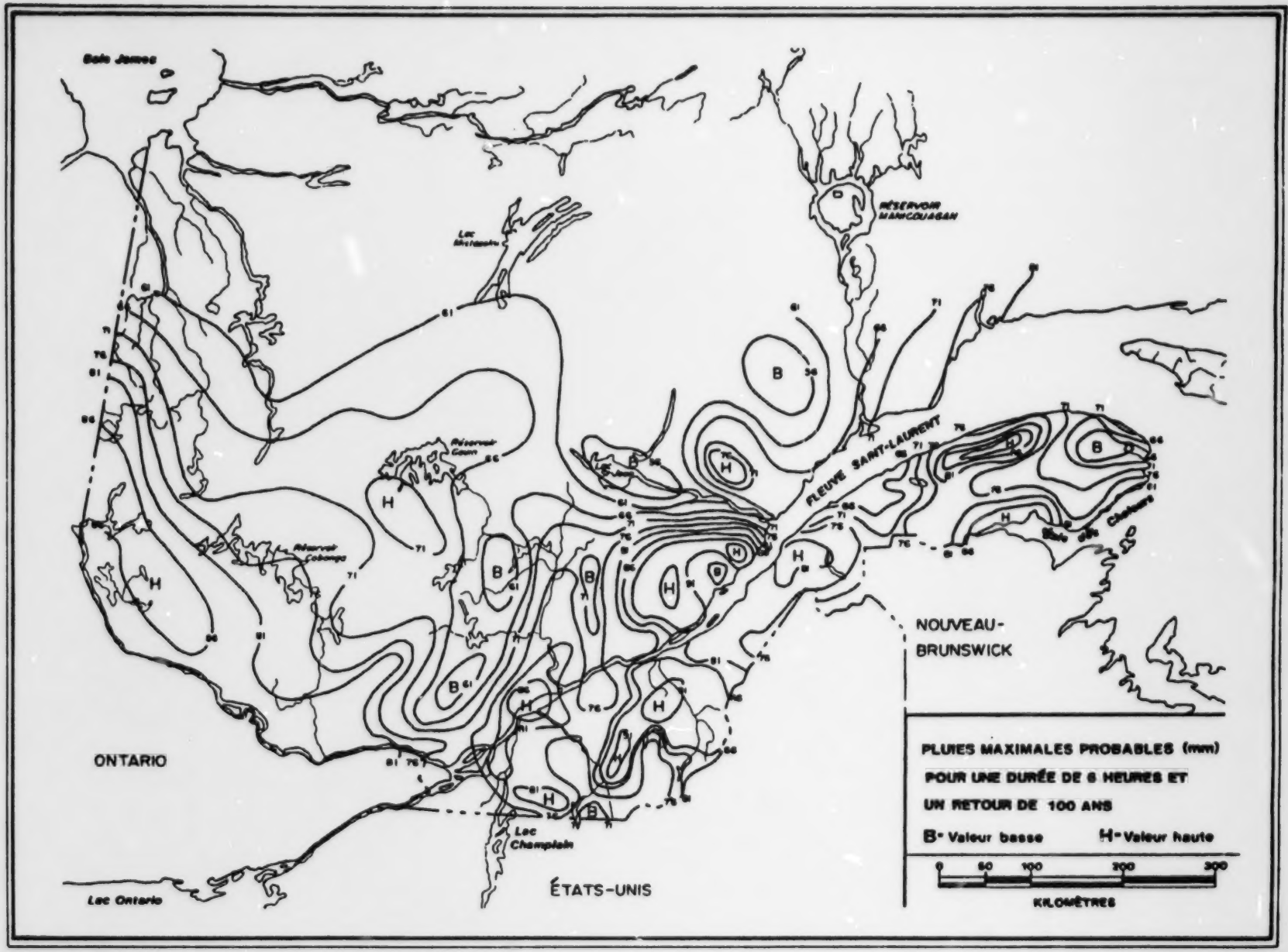
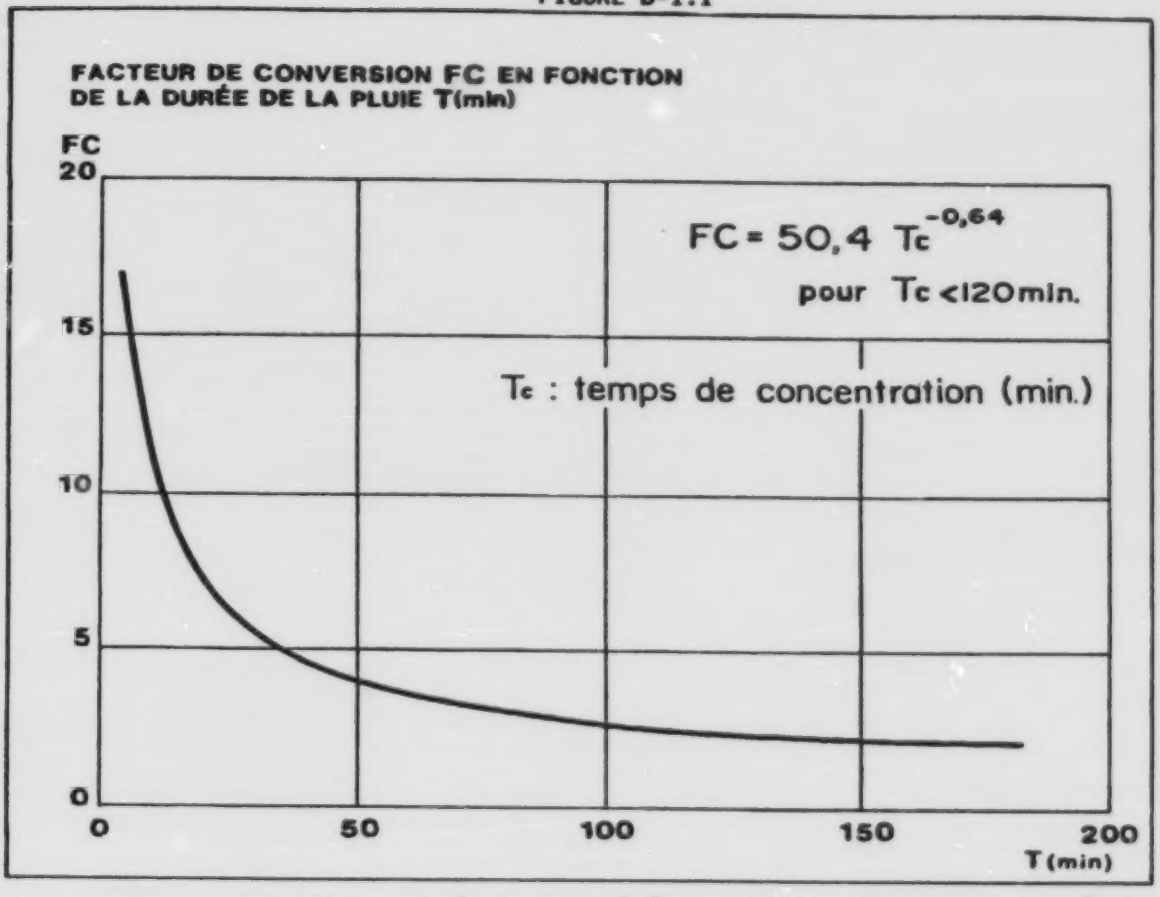

Baie James
RÉSERVOIR MANICOUAGAN
Lac Mistassini
Réservoir Gouin
Réservoir Cabonga
FLEUVE SAINT-LAURENT
NOUVEAU-BRUNSWICK
ONTARIO
Lac Champlain
ÉTATS-UNIS
Lac Ontario
PLUIES MAXIMALES PROBABLES (mm)
POUR UNE DURÉE DE 6 HEURES ET
UN RETOUR DE 100 ANS
B= Valeur basse
H= Valeur haute
0 50 100 200 300
KILOMÈTRES

Figure A-1.6

ANNEXE B-1

FACTEUR DE CONVERSION
POUR DES PLUIES D'UNE DURÉE
AUTRE QUE 6 HEURES

FIGURE B-1.1



NOTE: POUR PLUS DE PRÉCISIONS, RÉFÉREZ-VOUS A L'ATLAS MP-51, QUÉBEC 1974.

EXEMPLE: Quelle est l'intensité d'une pluie d'une récurrence de 10 ans et d'une durée de 60 minutes $I_{(10,60)}$ pour la ville de Québec?

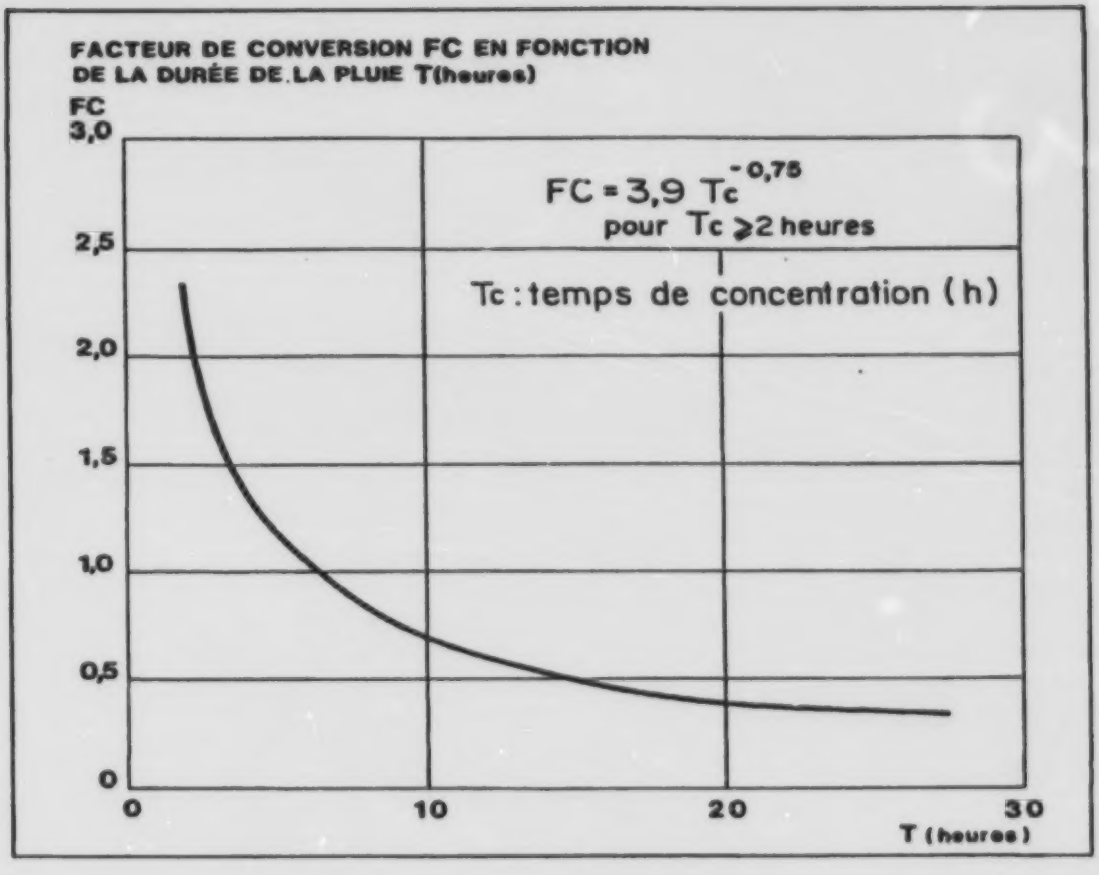
Figure A-1.3 $I_{(10,6\ heures)}$ = 62 mm/6 heures = 10,33 mm/h = $I_{(10,6)}$

FC = 3,71 pour T = 60 min: $I_{(10,60)}$ = 3,71 x 10,33 = 38,28 mm/h

La hauteur d'eau d'une récurrence de 10 ans et d'une pluie maximale d'une durée de 60 minutes est:

$Hc = I_{(10,60)} \times D_p$ = 38,28 mm/h x 1 heure = 38,28 mm

FIGURE B-1.2



NOTE: POUR PLUS DE PRÉCISIONS, RÉFÉREZ-VOUS A L'ATLAS MP-51, QUÉBEC 1974.

EXEMPLE: Quelle est l'intensité d'une pluie d'une récurrence de 25 ans et d'une durée de 12 heures $I_{(25,12)}$ pour la ville de Montréal?

Figure A-1.4: $I_{(25,6\ heures)}$ = 0,61 mm/6 heures = 10,17 mm/h
= $I_{(25,6)}$

FC = 0,61 pour T = 12 h : $I_{(25,12)}$ = 0,61 x 10,17 = 6,20 mm/h

La hauteur d'eau d'une récurrence de 25 ans et d'une pluie maximale d'une durée DP égale à 12 heures est:

$H_{DP} = H_{12} = I_{(25,12)} \times DP$ = 6,20 mm/h x 12 heures = 74,4 mm

ANNEXE C-1

UTILISATION DU NOMOGRAMME DE MIKE WHITE

ANNEXE C-1: Utilisation du nomogramme de Mike White

Quatre facteurs sont nécessaires pour l'évaluation des débits de pointe par ce nomogramme:

A- Pente	%	(Slope)
B- Superficie du bassin	acres	(Watershed area)
C- Pluie maximale probable de 24 heures (1) avec récurrence requise	pouces	(24 hours rainfall)
D- CN (numéro de courbe de ruissellement)	tableau C-1.1	(RCN)

A- Pente:

On utilise la pente moyenne (85-10) tel que décrit dans le Guide d'utilisation du Logiciel sur l'évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants. Le nomogramme est valide pour des pentes de 1 à 20%. Dans le cas où la pente du bassin est inférieure à 1%, multiplier les résultats par les facteurs suivants:

Pente %	Facteurs	
	1-50 acres	50-100 acres
0,1	0,47	0,43
0,2	0,58	0,55
0,3	0,66	0,64
0,4	0,74	0,71
0,5	0,79	0,77
0,7	0,89	0,88
0,85	0,95	0,94

(1) Cette durée n'a pas de relation avec le temps de concentration du bassin. Cette méthode n'utilise pas de temps de concentration.

B- Superficie du bassin

En acres: 1 ha = 2,47 acres
1 km^2 = 247 acres

Limite du nomogramme: 2 acres < superficie < 100 acres

C- Pluie maximale probable de 24 heures

La pluie maximale probable de 24 heures avec la récurrence requise se calcule en utilisant les figures A-1.1 à A-1.6 de l'annexe A-1 et en faisant les transformations nécessaires comme dans l'exemple suivant pour le secteur de St-Jean, Ile d'Orléans:

LIGNE		PÉRIODES DE RÉCURRENCE (ANNÉES)			
		5	10	25	50
1	Pluie maximale probable de 6 heures (mm) Figures A-1 à A-1.6	50	61	71	86
2	Intensité pour 6 heures (ligne 1 ÷ 6) (mm/h)	8,33	10,17	11,83	14,33
3	Intensité pour 24 h (1) (ligne 2 x 0,3596) (mm/h)	3,00	3,65	4,25	5,15
4	Pluie maximale probable de 24 heures (ligne 3 x 24) (mm)	72,00	87,75	102,1	123,7
	(po)	2,8	3,5	4,0	4,9

(1) Voir l'annexe B-1

D - CN (Numéro de courbe de ruissellement)

On peut utiliser le tableau C-1.1 ou le tableau 2 du rapport accompagnant le logiciel (Version 3) intitulé: "Les cours d'eau en milieu agricole, design et conception assistés par ordinateur, Tome 1: Évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants, deuxième édition".

Procédure:

1. Positionner la valeur de la pente sur la ligne horizontale de pente (SLOPE (%)) du coin supérieur gauche du nomogramme C-1.1 : point (1).

2. Déplacement vertical vers le haut et vers le bas jusqu'aux lignes correspondantes à votre CN (numéro de courbe de ruissellement): points (2) et (3).

3. Déplacement horizontal du point (2) jusqu'au point correspondant à votre superficie en acres (WATERSHED AREA (acres)): point (4).

4. L'intersection créée par le déplacement horizontal du point (3) et le déplacement vertical vers le bas du point (4) forment le point (5).

5. Déplacer le point (5) vers le bas en suivant la forme des courbes jusqu'au point (6) où la courbe se transforme en ligne verticale.

6. Positionner la valeur de la pluie maximale probable de 24 heures (préalablement calculée en pouces), sur l'échelle de pluie de 24 heures (24 HOURS RAINFALL (in.)) au coin inférieur gauche du nomogramme C-1.1: point (7).

7. Déplacer le point (7) verticalement vers le haut jusqu'à la rencontre avec votre valeur de courbe CN (numéro de courbe de ruissellement): point (8).

8. L'intersection créée par le déplacement horizontal vers la droite du point (8) et le déplacement vertical vers le bas du point (6) forment le point (9) (CURVES OF PEAK RUNOFF RATES). La position de ce point correspond à la valeur du débit de pointe en pi^3/s.

9. La hauteur ruisselée pour 24 heures s'obtient directement par le déplacement horizontal du point (8) vers la gauche jusqu'au point (10) (DIRECT RUNOFF (in.)).

Exemple de calcul:

Calculer le débit de pointe (Q_p) pour un basin versant de 6 hectares, avec une pente moyenne de 2 %, pour une période de 10 ans et un CN = 74. Évaluer la hauteur d'eau ruisselée totale pour une pluie de 24 heures - 10 ans.

1. 6 ha x 2,47 $\frac{ac}{ha}$ = 14,8 acres

2. Pluie de 10 ans - 24 heures = 3,5 po, voir page 1-24

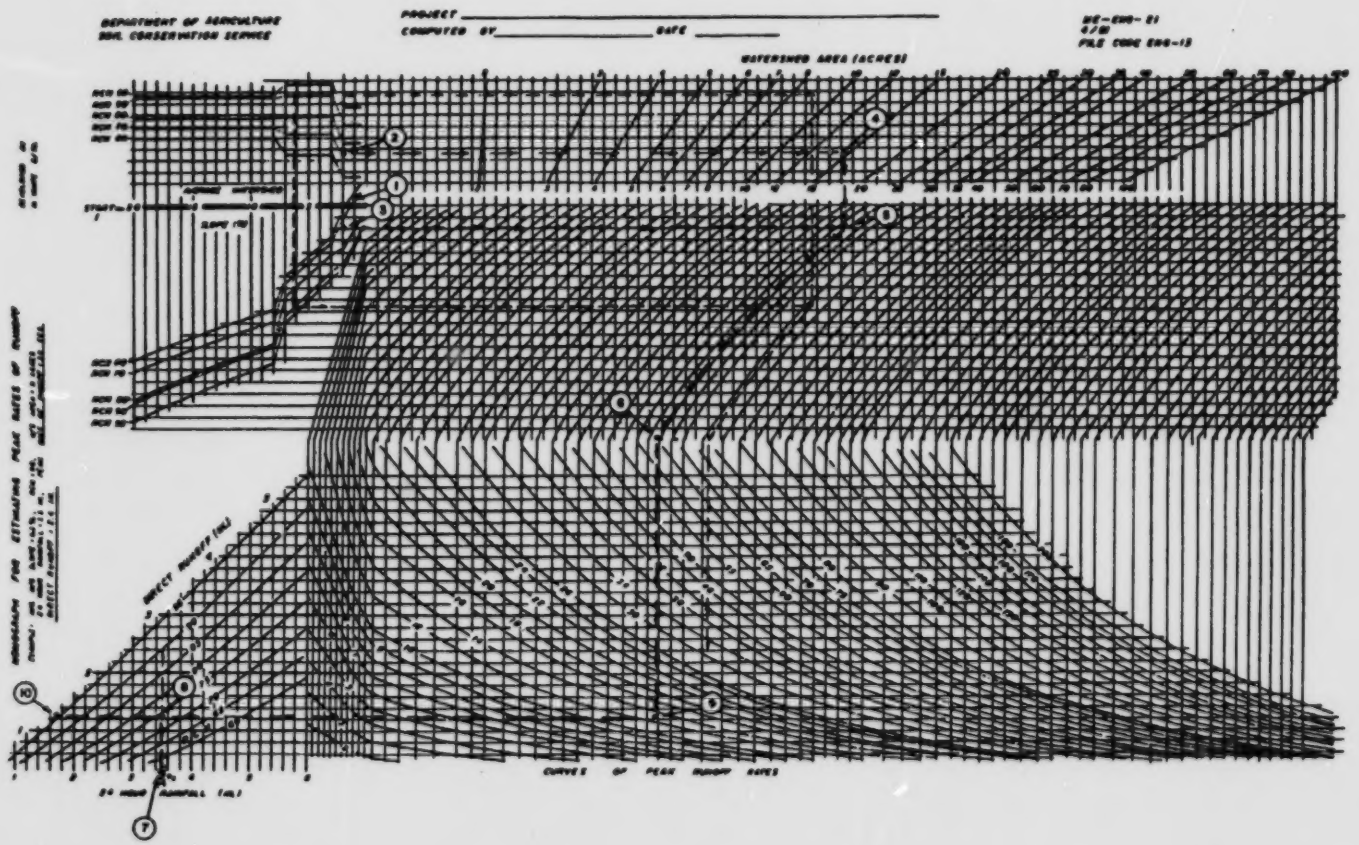
3. Suivre les 8 premières étapes sur le nomogramme
   (Voir nomogramme: C-1.1 page 1-28)
   Réponse Q_p = 13 pi^3/s => 0,37 m^3/s

4. Hauteur d'eau ruisselée totale en 24 heures - 10 ans
   Réponse : R_u = 1,23 po => 31,2 mm

Tableau C-1.1 Numéro de courbe de ruissellement

Utilisation du sol ou couvert végétal	Direction de la culture	Condition hydrologique	Classe de sol A	B	C	D
Jachère	Dans le sens de la pente	-----	77	86	91	94
Culture en rangée	Dans le sens de la pente	Pauvre	72	81	88	91
		Bonne	67	78	85	89
	En contour ou pente < 2%	Pauvre	70	79	84	88
		Bonne	65	75	82	86
	En contour avec terrasse	Pauvre	66	74	80	82
		Bonne	62	71	78	81
Céréales à paille	Dans le sens de la pente	Pauvre	65	76	84	88
		Bonne	63	75	83	87
	En contour ou pente < 2%	Pauvre	63	74	82	85
		Bonne	61	73	81	84
	En contour avec terrasse	Pauvre	61	72	79	82
		Bonne	59	70	78	81
Semis étroit ou à la volée, Légumes en semis étroit ou à la volée, Rotation	Dans le sens de la pente	Pauvre	66	77	85	89
		Bonne	58	72	81	85
	En contour ou pente < 2%	Pauvre	64	75	83	85
		Bonne	55	69	78	83
	En contour avec terrasse	Pauvre	63	73	80	83
		Bonne	51	67	76	80
Pâturage ou prairie		Pauvre	68	79	86	89
		Moyenne	49	69	79	84
		Bonne	39	61	74	80
	En contour ou pente < 2%	Pauvre	47	67	81	88
		Moyenne	25	59	75	83
		Bonne	6	35	70	79
Prairie permanente		Bonne	30	58	71	78
		Très pauvre	56	75	86	91
		Bonne	36	60	73	79
		Très bonne	15	44	54	61
Route avec accotements et fossés		Compacté	72	82	87	89
		Très compacté	74	84	90	92

(1) "Soil Erosion Manual", Ontario Ministry of Agriculture and Food, 1986.



Un format plus grand est disponible au Service du génie.

Figure C-1.1 NOMOGRAMME

ANNEXE D-1

ÉTUDE COMPARATIVE DE DIFFÉRENTES MÉTHODES D'ÉVALUATION DES DÉBITS DE POINTE

ANNEXE D-1: Étude comparative de différentes méthodes d'évaluation des débits de pointe

Les tableaux D-1.1, D-1.2 et D-1.3 présentent les résultats des débits de pointe calculés par cinq méthodes différentes. Les hypothèses ayant servies à effectuer les calculs sont les suivantes:

Méthode rationnelle et nomogramme de Mike White

1. Superficies des bassins versants: 5,7 ha, 14,1 ha, 20,1 ha et 40 ha.
2. Pentes moyennes des bassins versants: 0,2 %, 2 %, et 10 %.
3. Longueurs du parcours de l'eau: 340 m, 530 m, 635 m et 894 m.
4. Pourcentage de surface boisée: 0 %.
5. Pluies maximales probables du secteur Saint-Jean Ile d'Orléans pour des récurrences de 5, 10, 25 et 50 ans:
   6 heures: 50 mm, 61 mm, 71 mm et 84 mm.
   24 heures: 2,8 po, 3,5 po, 4,0 po et 4,9 po
6. Numéros de courbes pondérés des bassins versants:
   Pente 0,2 % et 2 %, CN = 74
   Pente 10 %, CN = 81

Méthode COOK (Drainage principales and applications, ILRI, 16, vol. 1V

1. Facteurs des débits de pointe non ajustés calculés avec la somme des W (facteurs de ruissellement selon les caractéristiques des bassins versants)
   Somme des W = 40 pour les pentes de 0,2 % et 2 %.
   Somme des W = 50 pour la pente de 10 %.
2. Facteur de pluie locale R = 0,57.
3. Facteur de récurrence F calculé avec une précipitation moyenne annuelle de 46 pouces et une somme des facteurs d'infiltration et de couvert végétal (I+VC) égale à 20 (5+15).

Méthode Standard ASAE (Norme ASAE EP302.3)

1. Utilisation de la figure 2 "Drainage curves-Northern area of U.S." avec la courbe 2B pour un excellent drainage agricole.

Période de retour (année)	Superficie du bassin (km2)	MÉTHODES						
		COOK* (m3/s)	Mike White (SCS) (m3/s)	Standard ASAE ** (m3/s)	Rationnelle			
					Bransby - Willams		Mockus	
					Tc (h)	(m3/s)	Tc (h)	(m3/s)
5	0.057		0.1		0.37	0.3	1.41	0.1
	0.141		0.2		0.53	0.7	2.01	0.3
	0.201		0.3		0.62	0.9	2.32	0.4
	0.400		0.5		0.81	1.4	3.05	0.6
10	0.057	0.2	0.2	0.2	0.37	0.4	1.41	0.2
	0.141	0.4	0.4	0.3	0.53	0.8	2.01	0.4
	0.201	0.6	0.5	0.3	0.62	1.1	2.32	0.4
	0.400	1.2	0.7	0.6	0.81	1.8	3.05	0.7
25	0.057	0.3	0.2		0.37	0.5	1.41	0.2
	0.141	0.6	0.5		0.53	1.0	2.01	0.4
	0.201	0.9	0.6		0.62	1.2	2.32	0.5
	0.400	1.8	0.9		0.81	2.1	3.05	0.9
50	0.057	0.4	0.4		0.37	0.6	1.41	0.3
	0.141	0.8	0.7		0.53	1.2	2.01	0.5
	0.201	1.2	0.8		0.62	1.5	2.32	0.6
	0.400	2.3	1.3		0.81	2.6	3.05	1.0

* LA MÉTHODE COOK NE TIENT PAS COMPTE DES PENTES TRÈS FAIBLE.

** LA MÉTHODE DES STANDARDS DE L'ASAE N'ÉVALUE PAS UN DÉBIT DE POINTE ET NE TIENT PAS COMPTE DE LA PENTE.

Tableau D-1.1 ÉVALUATION DES DÉBITS DE POINTE POUR UNE PENTE DE 0,2%.

Période de retour (année)	Superficie du bassin (km2)	MÉTHODES						
		COOK (m3/s)	Mike White (SCS) (m3/s)	Standard ASAE * (m3/s)	Rationnelle Bransby - Willams Tc (h)	Rationnelle Bransby - Willams (m3/s)	Rationnelle Mockus Tc (h)	Rationnelle Mockus (m3/s)
5	0.057		0.2		0.24	0.4	0.45	0.3
	0.141		0.5		0.34	0.9	0.64	0.6
	0.201		0.6		0.39	1.1	0.73	0.8
	0.400		1.0		0.51	2.0	0.97	1.3
10	0.057	0.2	0.3	0.2	0.24	0.5	0.45	0.4
	0.141	0.4	0.7	0.3	0.34	1.1	0.64	0.7
	0.201	0.6	0.9	0.3	0.39	1.4	0.73	1.0
	0.400	1.2	1.4	0.6	0.51	2.4	0.97	1.6
25	0.057	0.3	0.5		0.24	0.6	0.45	0.4
	0.141	0.6	0.9		0.34	1.3	0.64	0.9
	0.201	0.9	1.2		0.39	1.7	0.73	1.1
	0.400	1.8	1.8		0.51	2.8	0.97	1.9
50	0.057	0.4	0.7		0.24	0.8	0.45	0.5
	0.141	0.8	1.3		0.34	1.6	0.64	1.0
	0.201	1.2	1.7		0.39	2.0	0.73	1.4
	0.400	2.3	2.7		0.51	3.4	0.97	2.3

* LA MÉTHODE DES STANDARDS DE L'ASAE N'ÉVALUE PAS UN DÉBIT DE POINTE ET NE TIENT PAS COMPTE DE LA PENTE.

Tableau D-1.2 ÉVALUATION DES DÉBITS DE POINTE POUR UNE PENTE DE 2%.

Période de retour (année)	Superficie du bassin (km2)	MÉTHODES						
		COOK (m3/s)	Mike White (SCS) (m3/s)	Standard ASAE * (m3/s)	Rationnelle Bransby - Willams Tc (h)	Rationnelle Bransby - Willams (m3/s)	Rationnelle Mockus Tc (h)	Rationnelle Mockus (m3/s)
5	0.057		0.7		0.17	0.5	0.12	0.6
	0.141		1.3		0.24	1.1	0.17	1.3
	0.201		1.6		0.28	1.4	0.20	1.7
	0.400		3.0		0.37	2.5	0.26	3.0
10	0.057	0.3	0.9	0.2	0.17	0.7	0.12	0.8
	0.141	0.7	1.9	0.3	0.24	1.4	0.17	1.7
	0.201	1.0	2.4	0.3	0.28	1.9	0.20	2.3
	0.400	1.7	4.2	0.6	0.37	3.2	0.26	3.9
25	0.057	0.4	1.2		0.17	0.8	0.12	1.0
	0.141	1.0	2.5		0.24	1.7	0.17	2.1
	0.201	1.5	3.1		0.28	2.3	0.20	2.7
	0.400	2.5	5.2		0.37	3.9	0.26	4.7
50	0.057	0.6	1.6		0.17	1.1	0.12	1.3
	0.141	1.3	3.3		0.24	2.2	0.17	2.6
	0.201	1.9	4.1		0.28	2.8	0.20	3.5
	0.400	3.2	7.4		0.37	4.8	0.26	5.9

* LA MÉTHODE DES STANDARDS DE L'ASAE N'ÉVALUE PAS UN DÉBIT DE POINTE ET NE TIENT PAS COMPTE DE LA PENTE.

Tableau D-1.3 EVALUATION DES DEBITS DE POINTE POUR UNE PENTE DE 10%.

CHAPITRE 2

DÉFRICHEMENT

DÉFRICHEMENT

Auteurs: Laurent Prévost, ingénieur et agronome,
Gaëtan Carignan, ingénieur
David Fisk, ingénieur et agronome

TABLES DES MATIERES

			PAGE
2.1	Domaine d'application		2-3
2.2	Définitions		2-3
	2.2.1	Défrichement	2-3
	2.2.2	Déboisement	2-3
	2.2.3	Essouchement	2-3
	2.2.4	Mise en haie	2-3
	2.2.5	Enfouissement	2-4
	2.2.6	Déchiquetage	2-4
2.3	Préparation du projet		2-4
	2.3.1	Reconnaissance des lieux	2-4
	2.3.2	Évaluation agronomique	2-5
2.4	Réalisation du projet		2-5
	2.4.1	Recommandations générales	2-5
	2.4.2	Déboisement	2-6
	2.4.3	Essouchement	2-7
	2.4.4	Mise en haie	2-7
	2.4.5	Travaux combinés	2-8
	2.4.6	Enfouissement des débris	2-8
	2.4.7	Hersage	2-9
	2.4.8	Labour	2-10
	2.4.9	Aménagement du drainage superficiel	2-10
	2.4.10	Transport des débris	2-10
Tableau 2.1		Temps moyen de réalisation des travaux	2-11
Figures 2.1		Pelle hydraulique avec accessoires	2-12
	2.2	Bouteur avec accessoires	2-13
	2.3	Herse à disques de forte capacité	2-14
Annexes A-2		Estimation des coûts pour les travaux de défrichement	2-15
	B-2	Défrichement sélectif	2-16

2.0 DÉFRICHEMENT

2.1 DOMAINE D'APPLICATION

Le défrichement est l'ensemble des opérations visant à détruire la végétation naturelle dans le but de mettre en culture la superficie ainsi découverte.

2.2 DÉFINITIONS

2.2.1 DÉFRICHEMENT

Ensemble des opérations visant à rendre cultivable une superficie en friche ou en boisé. Le défrichement regroupe les opérations suivantes.

2.2.2 DÉBOISEMENT

Action qui consiste à débarasser le terrain des arbres de toutes dimensions, arbustes, arbrisseaux, souches, branches, racines et autres débris qui pourraient se trouver à la surface du sol.

2.2.3 ESSOUCHEMENT

Action qui consiste à arracher toutes les souches, racines et autres débris émergeant du sol.

2.2.4 MISE EN HAIE

Accumulation en tas continu des souches, des branches et des débris afin de les brûler ou de les enfouir.

2.2.5 ENFOUISSEMENT

Action qui consiste à disposer dans une fosse, tous les matériaux nuisibles à la culture de manière à pouvoir les recouvrir de sol.

2.2.6 DÉCHIQUETAGE

Action de couper en petits morceaux (non nuisibles aux méthodes culturales) les arbustes ou résidus forestiers.

2.3 PRÉPARATION DU PROJET

Tous les travaux de défrichement doivent faire l'objet d'une étude agronomique et économique (annexes A-2 et B-2).

2.3.1 RECONNAISSANCE DES LIEUX

2.3.1.1 Une reconnaissance physique des lieux et l'utilisation de l'étude pédologique permettront d'évaluer le potentiel du sol sous-jacent, d'identifier la présence de couches de sol induré naturel et des couches de sol à texture fortement contrastante, d'identifier le type de sol et évaluer son potentiel et sa valeur agronomique (analyse de sol), de localiser les obstacles présents et d'évaluer les possibilités de réaliser les drainages superficiel et souterrain.

2.3.1.2 Il faut évaluer la densité et la taille du couvert végétal ainsi que les conditions actuelles du drainage en prévision des travaux à exécuter. A partir de ces observations, il est possible de

déterminer l'envergure des divers travaux à exécuter afin de rendre le terrain cultivable. L'annexe A-2 présente des outils qui peuvent servir à l'estimation approximative des coûts du défrichement.

2.3.2 ÉVALUATION AGRONOMIQUE

Il faut démontrer que les travaux sont justifiés. Les éléments de justification peuvent être:

- les besoins;
- la rentabilité;
- le potentiel du sol;
- l'intensité des pratiques culturales;
- la priorité d'investissement.

L'évaluation du coût des travaux sera comparée au prix d'achat ou de location des terres en culture disponibles dans un rayon de 10 km de l'exploitation principale (annexe B-2).

2.4 RÉALISATION DU PROJET

2.4.1 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

Les travaux de défrichement doivent être exécutés alors que la nappe phréatique est à plus de 60 cm de la surface, afin d'éviter le compactage du sol ou la destruction de sa structure. Quelques trous de sondage permettent d'évaluer sa position de même que les conditions d'humidité du sol.

Des fossés sont creusés, s'il y a lieu, pour enlever l'excès d'eau. Dans certaines situations où le sol

est très humide et que des fossés ne seraient pas une solution satisfaisante, il est préférable d'effectuer les travaux lorsque le sol est suffisamment gelé.

Lors des travaux de déboisement, prévoir la conservation de bandes boisées ou autres systèmes d'aménagement pour la protection des sols contre l'érosion éolienne ou hydrique.

2.4.2 DÉBOISEMENT

2.4.2.1 Coupe: toute la végétation forestière de 50 mm de diamètre et plus doit être enlevée. Récupérer le bois ayant une valeur commerciale pour faciliter les travaux et diminuer le coût. Le reste des branches ou débris est brûlé ou préférablement déchiqueté.

2.4.2.2. Déchiquetage: le déchiquetage permet de conserver la matière organique sur le site. Les éclats de bois provenant du déchiquetage des branches ou de troncs d'arbres peuvent être de tailles très diverses. La taille des éclats ainsi que le volume accumulé sont les facteurs principaux qui déterminent la durée de l'attente entre le déboisement et la mise en culture.

Le rapport carbone/azote très élevé (500:1 à 2000:1) des débris nécessitera un apport d'engrais azoté afin d'accélérer la décomposition. Dans certains cas, une application de chaux agricole peut s'avérer nécessaire. Le fin hachage des débris réduit considérablement le rendement de la déchiqueteuse.

Pour une mise en culture immédiate, les débris du déchiquetage doivent être hachés très finement (copeaux) et incorporés au sol de surface.

2.4.2.3 Brûlage: pour le brûlage des débris de bois, s'assurer d'obtenir les permis de la Société de conservation régionale du Québec.

2.4.3 ESSOUCHEMENT

Les souches dont le diamètre est inférieur à 200 mm peuvent être arrachées au moyen d'un bouteur muni d'un peigne.

Les souches dont le diamètre est supérieur à 200 mm sont préférablement arrachées au moyen d'une pelle hydraulique (1,0 m^3 et plus). Quelques accessoires sont montrés à la figure 2.1 et devraient être utilisés pour extraire et secouer les racines permettant ainsi de laisser le sol sur place.

2.4.4 MISE EN HAIE

Les souches et les débris sont roulés au moyen d'un bouteur (150 kW et plus) muni d'un peigne (figure 2.2) pour confectionner des haies afin de les brûler et/ou les enfouir. La structure du peigne doit avoir une courbe permettant un mouvement de rotation de la charge. Chaque charge de débris doit être roulée plusieurs fois pour enlever le maximum de terre. L'écartement entre les haies est fonction du volume des débris à manipuler et ne devrait pas être supérieur à 60 mètres. Le sol doit être relativement sec lors de ces travaux. Les résidus peuvent être mis en

haie au moyen d'une pelle hydraulique. L'écartement entre les haies est fonction de la longueur de la flèche de la pelle.

2.4.5. TRAVAUX COMBINÉS

Fréquemment le déboisement, l'essouchement et la mise en haie se font en une seule opération. Un bouteur avec peigne est ordinairement utilisé lorsque le couvert végétal ne contient pas de bois commercial.

En hiver, lorsque le sol est gelé, il est possible de déboiser et mettre les débris en haie au moyen d'un bouteur muni d'une lame avant dont la pièce tranchante est placée horizontalement (figure 2.2).

Cet outil tranchant glisse à la surface du sol gelé et, de cette façon, sectionne au ras du sol toutes les tiges tout en transportant tous les matériaux qui se trouvent à la surface (souches, roches, etc).

Ce matériel, mêlé à la neige, est mis en haie. La quantité de terre mêlée aux débris est négligeable. Cependant, les souches ne sont pas toutes enlevées.

2.4.6 ENFOUISSEMENT DES DÉBRIS

Avant d'enfouir les débris, il faut s'assurer de conserver la couche de sol arable au-dessus des tranchées. L'enfouissement devrait se faire au moins un an après la mise en haie.

Il est recommandé de creuser la tranchée au moyen d'une pelle hydraulique (1,0 m^3 et plus); un bouteur

d'une capacité minimale de 150 kW pousse les débris dans la tranchée et la remblaie.

Une épaisseur minimale de 60 centimètres de sol doit recouvrir les débris enfouis. Un surplus doit être prévu pour tenir compte de la consolidation.

2.4.7 HERSAGE

Cette technique est limitée là où la végétation forestière est inférieure à 50 mm de diamètre.

Les herses à disques (figure 2.3) de forte capacité (disques de 750 à 950 mm de diamètre) sont utilisées lorsque le terrain est assez uniforme et que la densité des broussailles est de 2 à 3 tiges par mètre carré. Dans ces conditions, un ou deux passages de la herse est suffisant pour effectuer les travaux. Pour traîner une herse de 4 tonnes (3 mètres de largeur, 2 rouleaux) la puissance requise varie de 110 à 125 kW. L'enfouissement des broussailles se fait à environ 85% et par la suite les restes sont ramassés. Lorsqu'il y a présence de roches, le travail est moins efficace.

Pour obtenir un bon travail de hersage avec un minimum de débris, il est recommandé de débroussailler le terrain préalablement aux travaux de hersage.

2.4.8 LABOUR

Le labour ne devrait jamais être plus profond que la couche de sol arable (généralement 150 mm). Il devrait être fait dans de bonnes conditions d'humidité du sol.

2.4.9 AMÉNAGEMENT DU DRAINAGE SUPERFICIEL

Tous les travaux relatifs au drainage superficiel du terrain tels que les planches en faîte et l'aplanissement doivent être exécutés en tenant compte des recommandations contenus dans les chapitres 5 et 7 du présent cahier.

2.4.10 TRANSPORT DES DÉBRIS

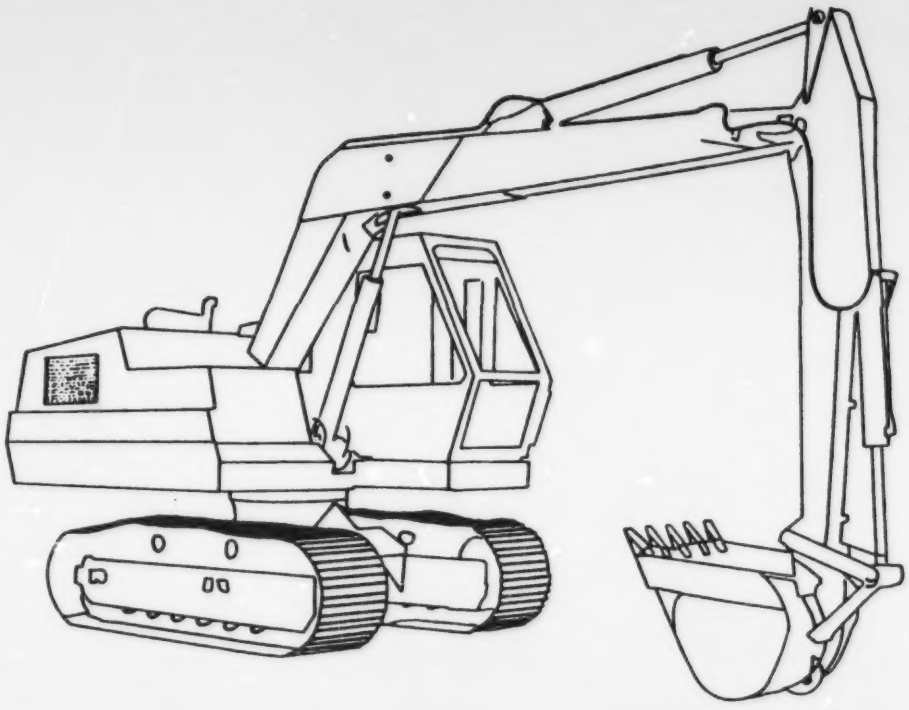
Pour tous travaux relatifs au transport des débris, se référer au chapitre 3 "Épierrement".

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

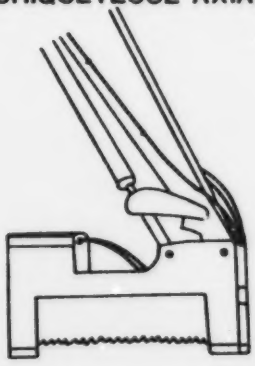
Tableau 2.1: Temps moyen* de réalisation des travaux

Couvert végétal	Couvert végétal et conditions des travaux					
	Dense et haut (Forêt)		Clair et haut ou dense et bas		Clair et bas (Broussailles)	
Conditions de terrain	Moyennes (h/ha)	Bonnes (h/ha)	Moyennes (h/ha)	Bonnes (h/ha)	Moyennes (h/ha)	Bonnes (h/ha)
Travaux: Equipements						
Déboisement:						
- Coupe/récolte	15	12	10	5	---	---
- Déchiquetage	15	12	10	8	7	7
Essouchement:						
- Pelle hydraulique	8	8	5	5	---	---
- Peigne	---	---	10	8		
Mise en haie	7	6	6	5	6	5
Travaux combinés						
- été	---	---	12	10	8	6
- hiver	---	---	10	8	7	5
Enfouissement	6	6	6	6	5	5
Hersage	---	---	---	---	2	1,5

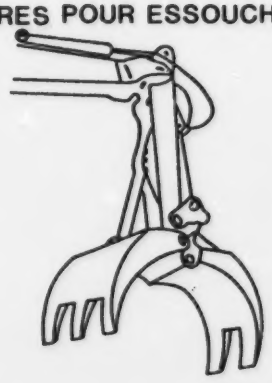
N.B.:* Toutes ces valeurs ne sont présentées qu'à titre indicatif.



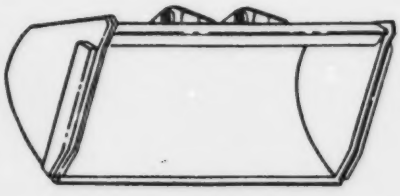
DÉCHIQUETEUSE AXIALE



ACCESSOIRES POUR ESSOUCHEMENT



GODET À FOSSÉ



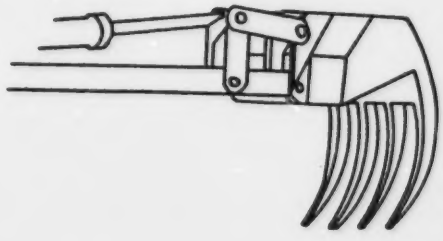
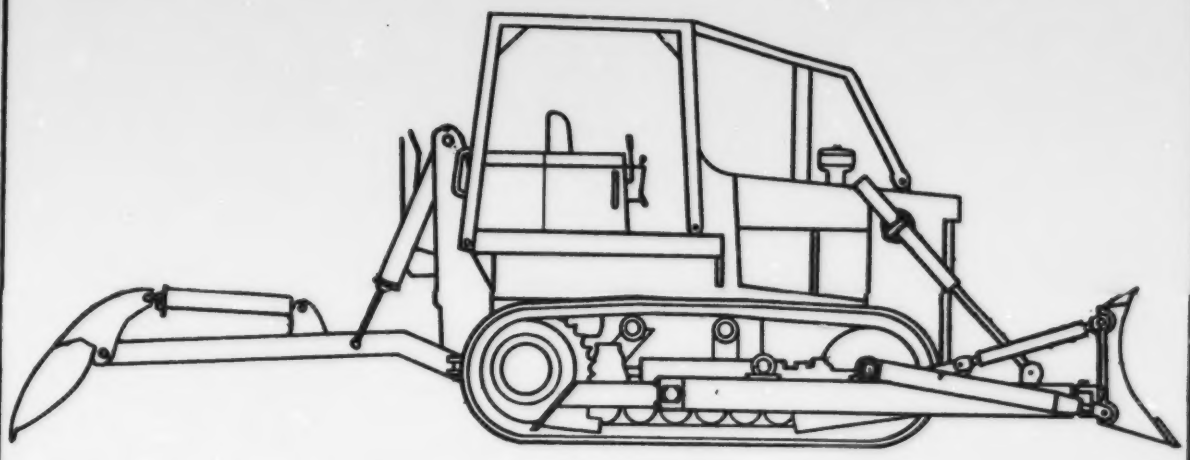
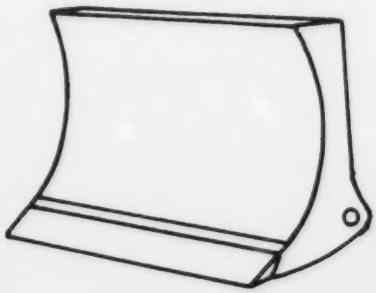


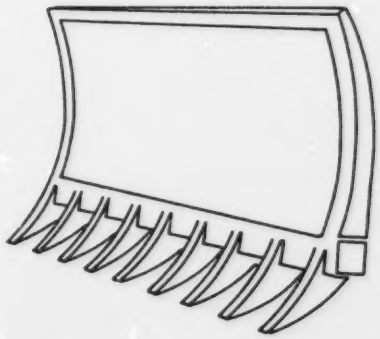
Figure 2.1 PELLE HYDRAULIQUE AVEC ACCESSOIRES.

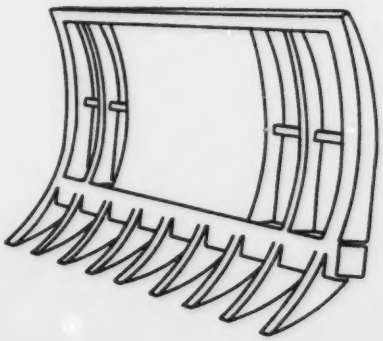


LAME AVEC COUTEAU HORIZONTAL



PEIGNES (3 TYPES)





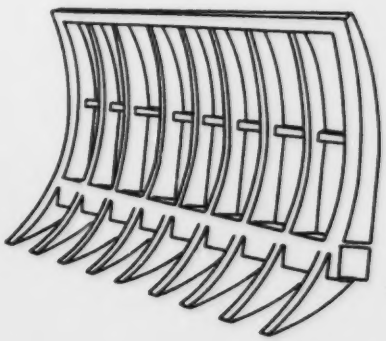
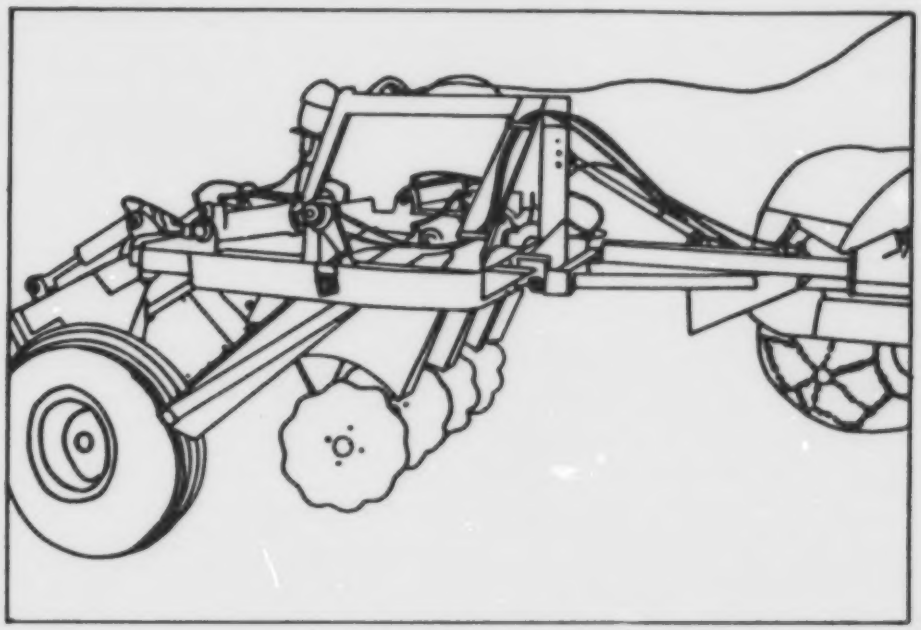
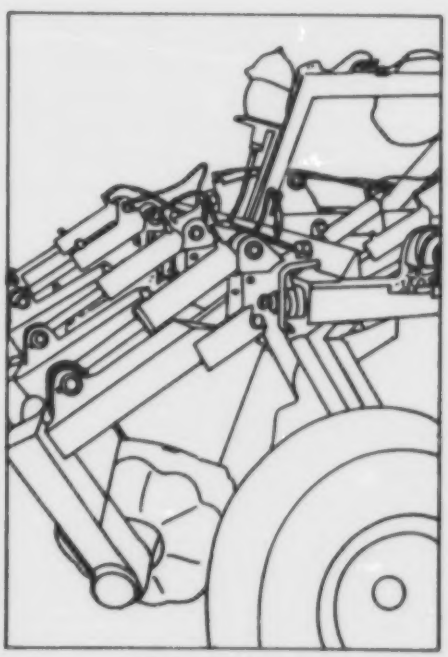


Figure 2.2 BOUTEUR AVEC ACCESSOIRES



VUE COTÉ



VUE ARRIÈRE

Figure 2.3 HERSE À DISQUES DE FORTE CAPACITÉ.

ANNEXE A-2

ESTIMATION DES COUTS POUR LES TRAVAUX DE DÉFRICHEMENT

SUPERFICIE A TRAVAILLER _____ (ha)

	HEURES	COUT
- Drainage par fossés	_____	_____
- Déboisement	_____	_____
- Déchiquetage	_____	_____
- Essouchement	_____	_____
- Mise en haie (bouteur ou débusqueuse)	_____	_____
- Enfouissement des débris	_____	_____
- Transport des débris	_____	_____
- Hersage (2 passes)	_____	_____
- Aménagement du drainage superficiel (planche en faîte, aplanissement)	_____	_____
- Epierrement avec tracteur de ferme	_____	_____
- Drainage souterrain		_____
- Amendement		_____
- Moins récupération commerciale du bois		_____

COUT TOTAL: _____

ANNEXE B-2
DÉFRICHEMENT SÉLECTIF
ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION ET AVIS

FERME: _____

TÉLÉPHONE: _____

Superficies:_____ha, En propriété:_____ha, En location:_____ha
En culture: foin_____ha, pâturages améliorés_____ha
céréales_____ha, autres_____ _____ha

Troupeau: nombre de vaches laitières:_____ de boucherie:_____
remplacement (laitières) :_____ de boucherie:_____
Autres productions: _____
Nombre d'ha en fourrage/vache: laitière:_____ha/v, de boucherie:_____ha/v
ou
Nombre d'ha en fourrage/un. animale: laitière:____ha/ua, de bouch.:____ha/ua
Disponibilité de terre pour achat (moins de 10 km) oui _____ non_____
Remarques:_____
_____
Superficie à défricher:_____Type de sol:(carte pédologique):_____
Classe de sol: _____
Coût des travaux du défrichement: _____
Item diminuant le coût: subvention (s'il y a lieu): _____
autre : _____

Coût net des travaux du défrichement:_____$/ha
Valeur marchande de la terre nue: _____$/ha

(Source: Office du Crédit agricole, Société du Crédit Agricole)

CHAPITRE 3

ÉPIERREMENT

ÉPIERREMENT

Auteurs: Luc Dubreuil, ingénieur
Gustave Caron, ingénieur

TABLE DES MATIERES

		PAGE
3.1	Domaine d'application	3-3
3.2	Définition	3-3
3.3	Ramassage des pierres	3-3
	3.3.1 Pierres de moins de 300 mm	3-3
	3.3.2 Pierres de 300 mm et plus	3-4
3.4	Enfouissement des pierres	3-4
	3.4.1 Description	3-4
	3.4.2 Machinerie recommandée	3-5
3.5	Transport des pierres	3-5
	3.5.1 Description	3-5
	3.5.2 Machinerie recommandée	3-6
3.6	Élimination des affleurements de roc	3-6
	3.6.1 Description	3-6
	3.6.2 Élévation du roc de moins de 100 mm	3-6
	3.6.3 Élévation du roc de plus de 100 mm	3-7
	3.6.4 Machinerie recommandée	3-7
Figures 3.1	Râteau à roches	3-8
3.2	Ramasseur de roches	3-8
3.3	Rétrocaveuse	3-9

3.0 ÉPIERREMENT

3.1 DOMAINE D'APPLICATION

Ce chapitre a pour but de décrire les travaux d'épierrement permettant de faciliter le passage de la machinerie agricole et d'augmenter la superficie cultivable.

3.2 DÉFINITION

L'épierrement est l'action de débarrasser un terrain des pierres qui gênent la culture. Les travaux consistent à ramasser les pierres et à en disposer soit par enfouissement ou transport en un lieu non nuisible à la culture.

3.3 RAMASSAGE DES PIERRES

3.3.1 PIERRES DE MOINS DE 300 mm

Préalablement, il est recommandé de labourer et d'arracher les roches au moyen de la herse à roches. L'utilisation du râteau à roches (figure 3.1) suit ces travaux, il ramène les pierres en haies et la reprise se fait au moyen d'un ramasseur de roches (figure 3.2). Les pierres sont soit transportées dans une fosse préalablement aménagée soit déposées en haies ou en un tas, soit laissées dans un endroit moins gênant pour la culture.

3.3.2 PIERRES DE 300 mm ET PLUS

Lorsque les pierres sont nombreuses et de dimensions diverses, elles sont ramassées par un bouteur muni d'un peigne (figure 2.2) et mises en haies ou en tas, si possible en bordure des champs. Les dents du peigne doivent assurer un travail sur une épaisseur de sol d'au moins 30 centimètres et ne pas être espacées de plus de 30 centimètres. Le bouteur devrait avoir une puissance minimale de 85 kW.

Si les grosses pierres sont peu nombreuses et dispersées et que la distance à parcourir entre les pierres et le lieu du dépôt est inférieure à 100 mètres, il est préférable de les transporter. Au-delà de cette distance, elles sont enfouies sur place.

3.4 ENFOUISSEMENT DES PIERRES

3.4.1 DESCRIPTION

Lors du creusage de la fosse, le sol de surface (couche arable, 0-20 cm) doit être séparé de celui du sous-sol. Les travaux d'enfouissement sont complétés par le régalage de la couche arable sur la totalité de la surface travaillée. Lorsque c'est possible, un minimum de 60 centimètres de sol doit recouvrir les roches. Elles doivent être enfouies à une profondeur suffisante pour qu'elles ne soient pas affectées par l'action du gel. Dans certains cas, il sera nécessaire de drainer souterrainement la fosse pour abaisser la nappe d'eau et ainsi diminuer le risque de la remontée des pierres sous l'action du gel.

3.4.2 MACHINERIE RECOMMANDÉE

La machinerie recommandée varie selon le volume et la distribution des haies ou des tas de roches à enfouir. Ainsi pour les petits tas de roches dispersés, la rétrocaveuse (pépine) ou pelle hydraulique, d'une capacité minimale de 0,5 m^3, et un bouteur d'une capacité minimale de 85 kW sont suffisants. Pour les haies et tas de roches plus importants, une pelle hydraulique de 0,8 m^3 et plus, et un bouteur d'une capacité minimale de 105 kW sont recommandés.

3.5 TRANSPORT DES PIERRES

3.5.1 DESCRIPTION

Si l'enfouissement s'avère difficile à cause de la composition du sous-sol (roches en grande quantité, gravier, roc à faible profondeur, couche arable mince, etc.), de la présence d'un puits d'alimentation en eau ou d'autres obstacles majeurs, le transport demeure une solution valable. L'utilisation de la pierre pour le remblayage, la construction d'un chemin, l'aménagement d'une tranchée filtrante, le contrôle d'érosion, etc..., justifie également le transport. Le chargement s'effectue au moyen d'une pelle hydraulique ou d'une chargeuse (sur pneus ou sur chenilles) et le transport par camions.

3.5.2 MACHINERIE RECOMMANDÉE

La pelle hydraulique aura une capacité minimale de 0,8 m^3 et la chargeuse de 2,0 m^3. Les camions de 3 essieux (10 roues) sont préférables à ceux de 2 essieux (6 roues) afin de diminuer la pression au sol et d'avoir une meilleure répartition du poids. Le nombre de camions requis, 2 au minimum, augmentera proportionnellement à la distance à parcourir. La pelle hydraulique et la chargeuse doivent être utilisées au maximum (aucune perte de temps).

3.6 ÉLIMINATION DES AFFLEUREMENTS DE ROC

3.6.1 DESCRIPTION

A certains endroits, le roc apparaît en surface, généralement sur une petite superficie et de faible hauteur. Ces travaux ont pour but d'éliminer ces affleurements afin de faciliter la culture de ces parcelles.

3.6.2 ÉLÉVATION DU ROC DE MOINS DE 100 mm

Si l'élévation du roc est très faible (moins de 100 mm) et que la topographie des lieux le permet, l'affleurement de roc est recouvert de sol arable d'une épaisseur minimale de 20 cm.

3.6.3 ÉLÉVATION DU ROC DE PLUS DE 100 mm

Si l'élévation du roc est plus importante (plus de 100 mm), il faut briser l'affleurement de roc et l'abaisser à une élévation adéquate afin de pouvoir le recouvrir d'une épaisseur convenable de sol arable (minimum 20 centimètres).

3.6.4 MACHINERIE RECOMMANDÉE

Le roc peut être brisé soit par un marteau hydraulique, une pelle hydraulique d'une capacité minimale de 0,8 m^3, munie d'une défonceuse, ou d'un bouteur d'une capacité minimale de 130 kW également muni d'une défonceuse. Le roc est transporté par camions. Le sol arable est transporté ou poussé par un bouteur.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

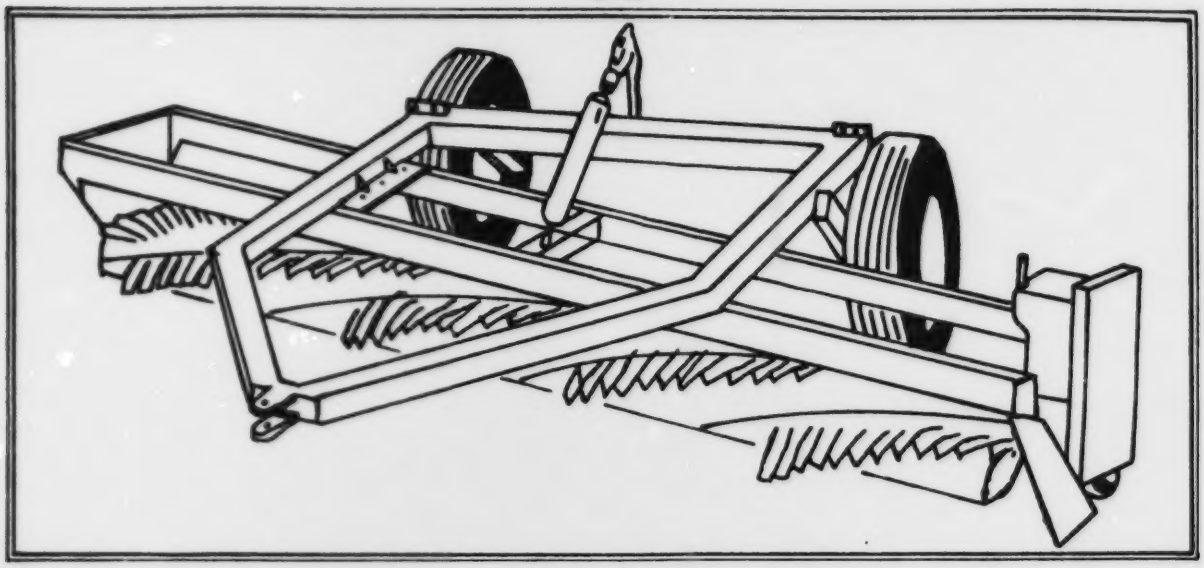


Figure 3.1 RÂTEAU À ROCHES

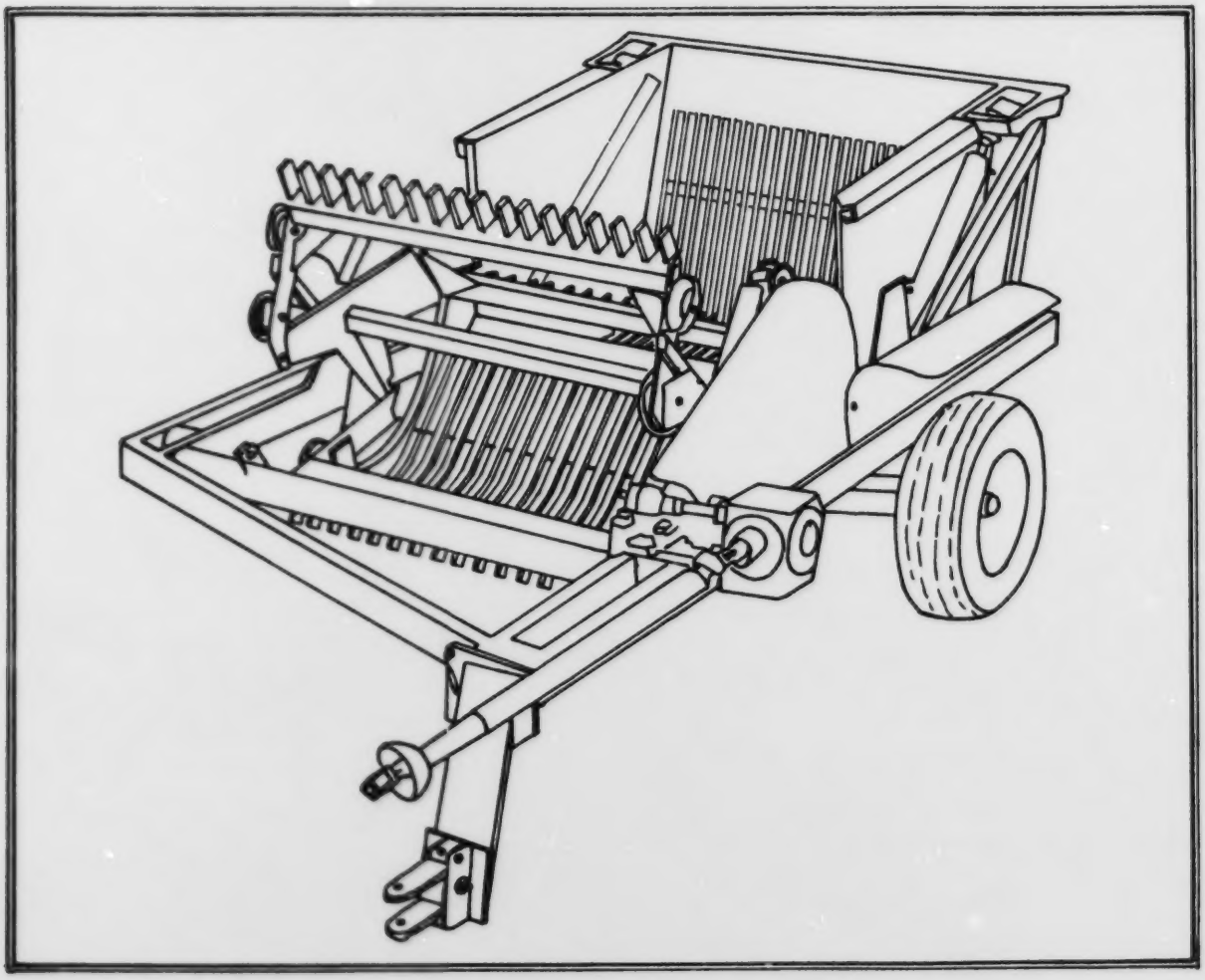


Figure 3.2 RAMASSEUR DE ROCHES

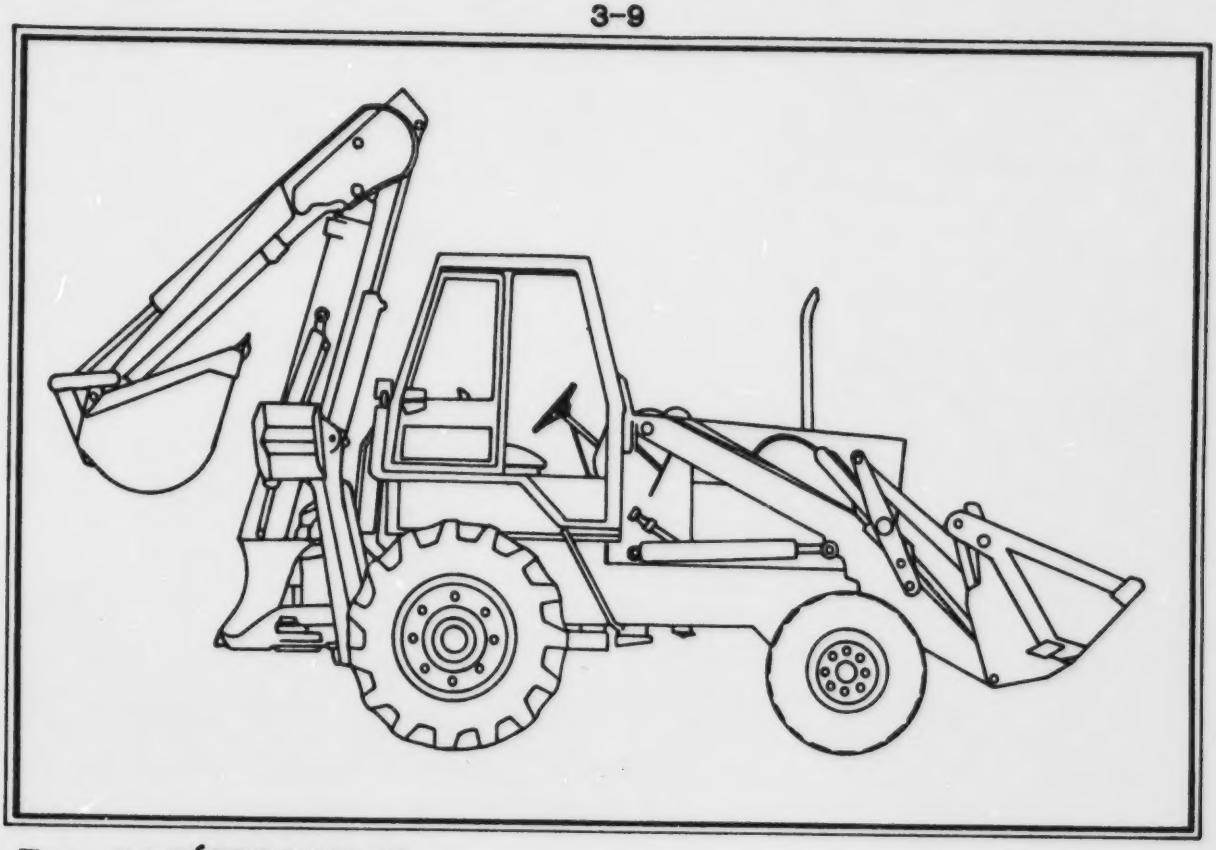


Figure 3.3 RÉTROCAVEUSE

CHAPITRE 4

AMÉNAGEMENT DE FOSSÉS

AMÉNAGEMENT DE FOSSÉS

Auteurs: Régis Potvin, ingénieur
Georges Lamarre, ingénieur et agronome
Mario Laroche, ingénieur
Côme Nolet, ingénieur

TABLE DES MATIERES

		PAGE
4.1	Domaine d'application	4-3
4.2	Définition	4-3
4.3	Préparation du projet	4-3
4.3.1	Étude	4-3
4.3.2	Conception de fossés	4-4
4.4	Réalisation du projet	4-5
4.4.1	Excavation	4-5
4.4.2	Régalage des déblais	4-6
4.4.3	Mesures de protection	4-6
Tableau 4.1	Conception de fossé	4-9
Figures 4.1	Géométrie des fossés	4-10
4.2	Protection à l'embouchure des fossés	4-11
4.3	Protection avec seuil	4-11
4.4	Protection avec tranchée filtrante	4-12
4.5	Protection avec puisard	4-13
4.6	Protection avec avaloir	4-13

4.0 AMÉNAGEMENT DE FOSSÉS

4.1 DOMAINE D'APPLICATION

Le fossé de ferme a une vocation essentiellement agricole. Son objectif premier est d'assurer le contrôle et l'évacuation des eaux de surface. Il sert uniquement à:

- canaliser les eaux provenant des rigoles et des raies de curage;
- intercepter les eaux de surface et souterraines provenant des superficies boisées.

Note : Une canalisation servant uniquement à capter et à évacuer les eaux d'un ou deux versants de planche ne doit pas être considérée comme un fossé.

4.2 DÉFINITION

Un fossé est un canal à ciel ouvert ayant les dimensions minimales suivantes: une largeur au fond de 0,5 mètre, des talus inclinés à 45 degrés (1:1) et une profondeur de 0,5 mètre servant à évacuer un débit minimum de 0,20 m^3/s.

Les dimensions minimales précitées réfèrent à une section trapézoïdale (voir figure 4.1). Également, une section parabolique ayant une section équivalente peut être souhaitable dans le cas de sols instables.

4.3 PRÉPARATION DU PROJET

4.3.1 ETUDE

La nature des problèmes observés au champ et les objectifs visés par le requérant déterminent la

nécessité d'une intervention pour la confection d'un fossé. Cette démarche permet de:

- bien situer le fossé;
- d'identifier le but de l'intervention et les bénéfices recherchés;
- préciser la longueur à travailler, la superficie souffrante et le coût approximatif de l'aménagement;
- évaluer l'intensité et le genre d'activités agricoles des terrains visités.

L'analyse devra conduire à une recommandation à l'agriculteur.

4.3.2 CONCEPTION DE FOSSÉS

La méthodologie proposée est fonction des études hydrologique, pédologique et hydraulique. Pour les études pédologique et hydraulique, on se référera au chapitre 4 du "Guide d'analyse et d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles".

Toutes les données nécessaires à la conception du projet pourront être rassemblées à l'intérieur du tableau 4.1, intitulé "Conception de fossé".

4.3.2.1 Hydrologie: évaluer le débit de pointe à évacuer selon la méthodologie présentée au chapitre 1 du présent document. La période de retour ou récurrence recommandée est de 2, 5 ou 10 ans, dépendant de la valeur commerciale des cultures et de la topographie.

4.3.2.2 Pédologie: déterminer la vitesse maximale permise, les forces tractrices critiques et la pente des talus admissible en fonction de la nature du sol (voir chapitre 4 du guide précité).

4.3.2.3 Hydraulique: déterminer la largeur au fond, la pente du fossé, le coefficient de rugosité, la hauteur normale d'écoulement, la vitesse moyenne de l'eau, les forces tractrices maximales et le nombre de Froude suivant la méthodologie proposée dans le chapitre 4 du guide précité.

4.4 RÉALISATION DU PROJET

Cette section propose un ensemble de recommandations destinées à bonifier les ouvrages et à minimiser les impacts négatifs issus des travaux.

4.4.1 EXCAVATION

Les travaux d'excavation consistent à :

- creuser en période d'étiage;
- procéder de l'aval vers l'amont;
- creuser à la profondeur projetée, en utilisant un appareil à rayon laser ou des points de repères rapprochés;
- respecter les dimensions projetées, largeur au fond, pente des talus: l'inclinaison des talus ne doit jamais être plus forte que celle projetée;
- utiliser l'outillage adéquat: on, peut utiliser un bouteur avec lame arrière (figure 2.2) lorsque la profondeur à creuser est inférieure à 600 mm à condition de ne pas décaper les bermes du fossé;

- lorsque la profondeur excède 600 mm, on utilise une pelle hydraulique ou tout autre équipement spécialisé (figure 2.1).

4.4.2 RÉGALAGE DES DÉBLAIS

Les travaux de régalage consistent à :

- utiliser d'abord les déblais pour combler les dépressions;
- l'excédent des déblais doit être épandu sur une couche mince d'une épaisseur maximale de 75 mm sur toute la largeur du versant de la planche pour ne pas en modifier la pente;
- régaler en période sèche lorsque les déblais eux-mêmes sont secs;
- utiliser un bouteur et une niveleuse ou seulement une niveleuse, selon les quantités à régaler.

4.4.3 MESURES DE PROTECTION

L'analyse des divers paramètres conditionnant l'évolution du fossé permet d'identifier les zones fragiles et d'y inclure les protections requises. De façon générale, on doit apporter une attention particulière à l'embouchure des fossés. A cet égard, le texte qui suit présente diverses alternatives susceptibles d'assurer la stabilité des sorties de fossés. Dans certains cas, l'utilisation d'une membrane géotextile sera nécessaire. Dans le cas de la nécessité d'avoir des chutes enrochées, celles-ci devront être de forme concave pour concentrer l'eau au centre (voir "Cahier des charges générales" articles 17.2.3.1, 17.2.3.4 et 17.2.4.2).

4.4.3.1 Protection à l'embouchure d'un fossé à la même élévation que l'émissaire. Lorsque l'élévation du fond du fossé correspond à celle de l'émissaire, une protection des talus avec de la pierre de 20 à 150 mm de diamètre (D_{75} = 100 mm), sur une épaisseur minimale de 200 mm, est recommandée. La zone d'empierrement montrée à la figure 4.2 doit s'étendre sur une longueur minimale de 1,0 mètre dans les deux directions.

Il est également requis de procéder à l'enrochement du talus de l'émissaire sur la rive opposée au fossé dans tous les cas où le débit du fossé est important et où la largeur de l'émissaire est faible.

4.4.3.2 Protection à l'embouchure d'un fossé à une élévation différente de l'émissaire.

1- Chute empierrée (figure 4.2)

L'enrochement est constitué de pierres préférablement angulaires de 20 à 150 mm de diamètre (D_{75} = 100 mm) sur une épaisseur minimale de 200 mm. La diversité des diamètres assure une meilleure stabilité. Il est important de stabiliser le bas des talus du fossé et le lit de l'émissaire

2- Chute empierrée et seuil (figure 4.3)

L'aménagement d'un seuil constitue une excellente solution pour réduire la vitesse de l'eau en amont et permettre la sédimentation des particules de sol, dans les sols sensibles à l'érosion. Un seuil de faible hauteur d'environ 300 mm avec de la pierre angulaire de 20 à 150 mm (D_{75} = 100) est recomman-

dé. Il est important d'éviter le contournement de l'eau sur le seuil en période de crue, en prévoyant la protection des talus à l'amont et à l'aval sous forme d'empierrement tel que montré à la figure 4.3. Dans tous les cas, il est recommandé de vérifier si la granulométrie de la pierre respecte les forces d'arrachement maximale lors d'un débit de pointe d'une récurrence donnée (voir chapitre 9).

3- Tranchée filtrante, puisard et avaloir

Pour les fossés de faible envergure, l'aménagement d'une tranchée filtrante, d'un puisard ou d'un avaloir avec conduite d'évacuation constituent une solution intéressante lorsque le sol est sensible à l'érosion. Les figures 4.4, 4.5 et 4.6 illustrent ces ouvrages qui doivent être munis d'un bassin de sédimentation (voir chapitre 9).

4.4.3.3 Engazonnement. Tous les talus mis à nu doivent être engazonnés selon les recommandations énoncées au chapitre 5 du Guide d'analyse et d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles.

4.4.3.4 Bande riveraine. Un espace de terrain, localisé en bordure du fossé et d'une largeur minimale d'un mètre, ne devra faire l'objet d'aucune intervention entraînant la mise à nu du sol.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

CONCEPTION DE FOSSÉ

FERME: **No de producteur:**

MUNICIPALITÉ:

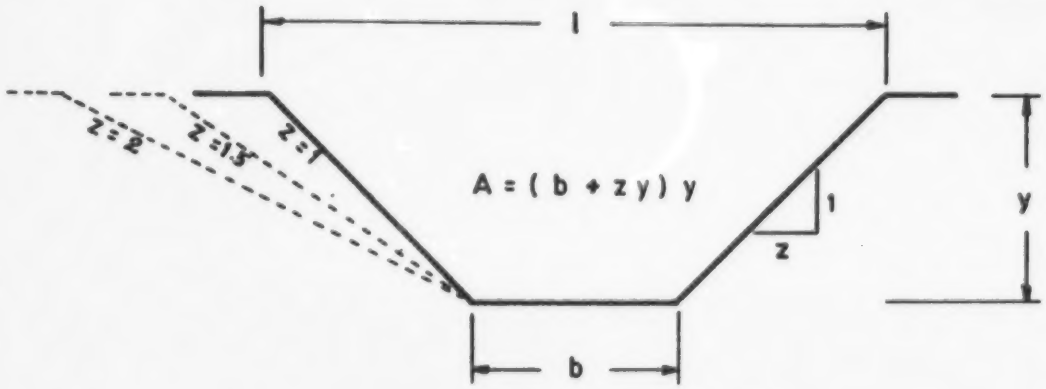
	HYDROLOGIE			PÉDOLOGIE				HYDRAULIQUE							
Fossé #	Bassin versant A (km2)	Période de retour Tr (année)	Débit de pointe Qp (m3/s)	Vitesse maximale permise Vm (m/s)	Force tractrice critique du talus Tc talus (Pa)	Force tractrice critique du fond Tc fond (Pa)	Pente des talus 1 : z	Largeur au fond b (m)	Pente du fossé So (m/m)	Coefficient de rugosité n	Hauteur normale Yn (m)	Vitesse moyenne de l'eau V (m/s)	Force tractrice maximale au talus Tt (Pa)	Force tractrice maximale au fond Tf (Pa)	Nombre de Froude Fr

Date: **Préparé par:** **Approuvé par:**

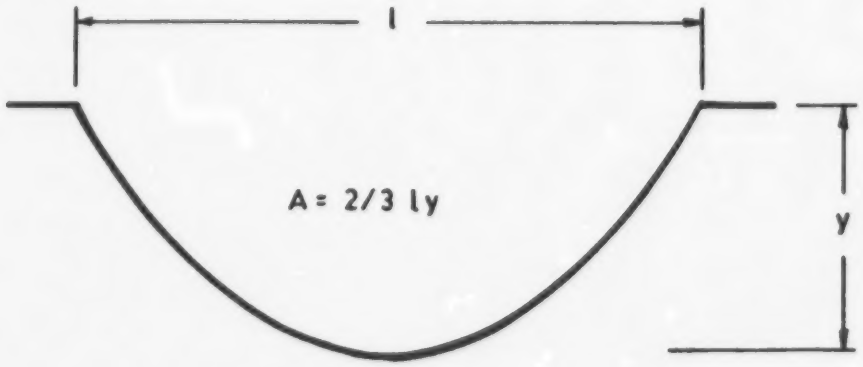
REMARQUES:

Tableau 4.1 CONCEPTION DE FOSSÉ

SECTION TRAPÉZOÏDALE



SECTION PARABOLIQUE



DIMENSIONS MINIMALES : (section trapézoïdale)

b = 0,5 m
y = 0,5 m
z = 1
l = 1,5 m

Figure 4.1 GÉOMÉTRIE DES FOSSÉS

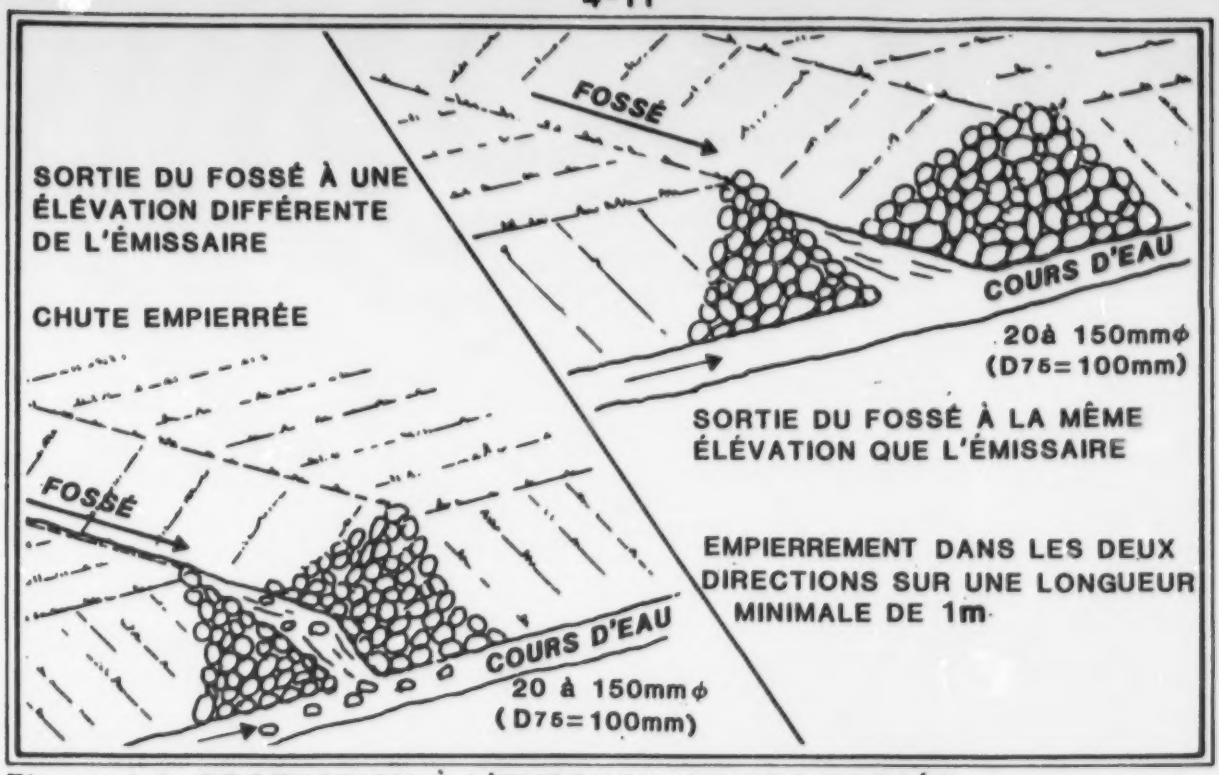


Figure 4.2 PROTECTION À L'EMBOUCHURE DES FOSSÉS.

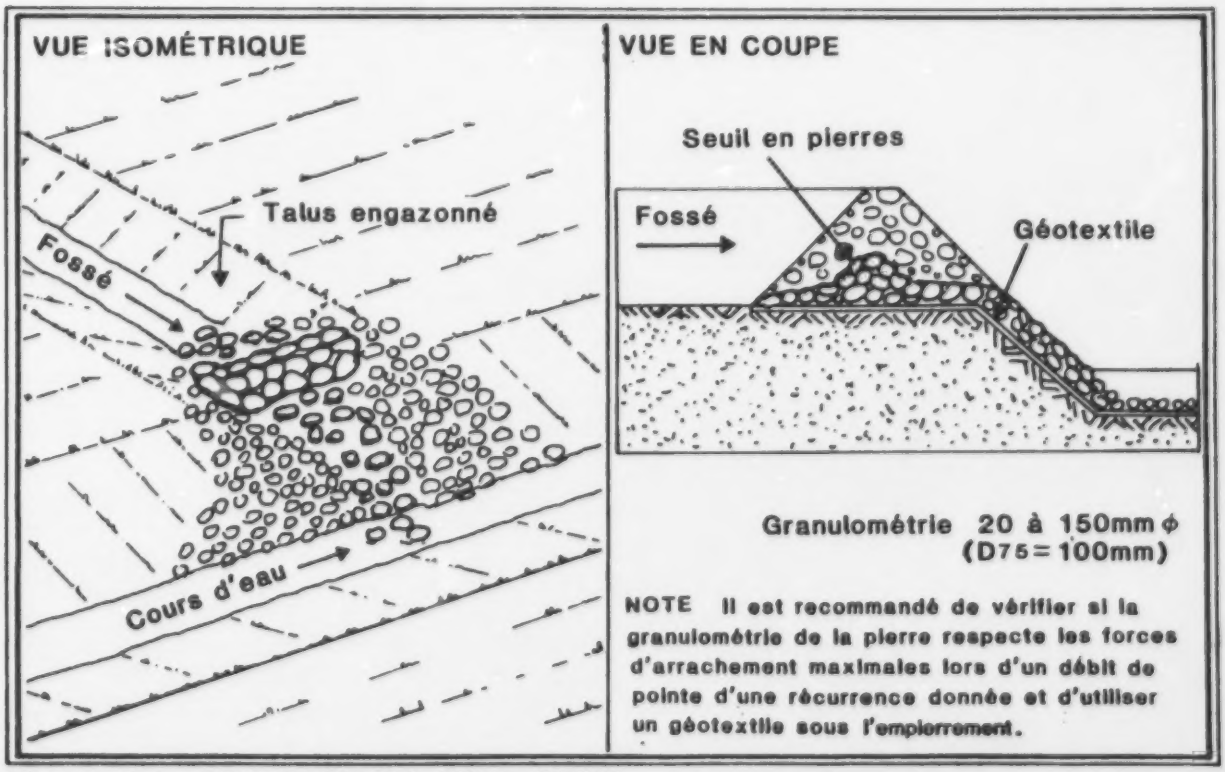
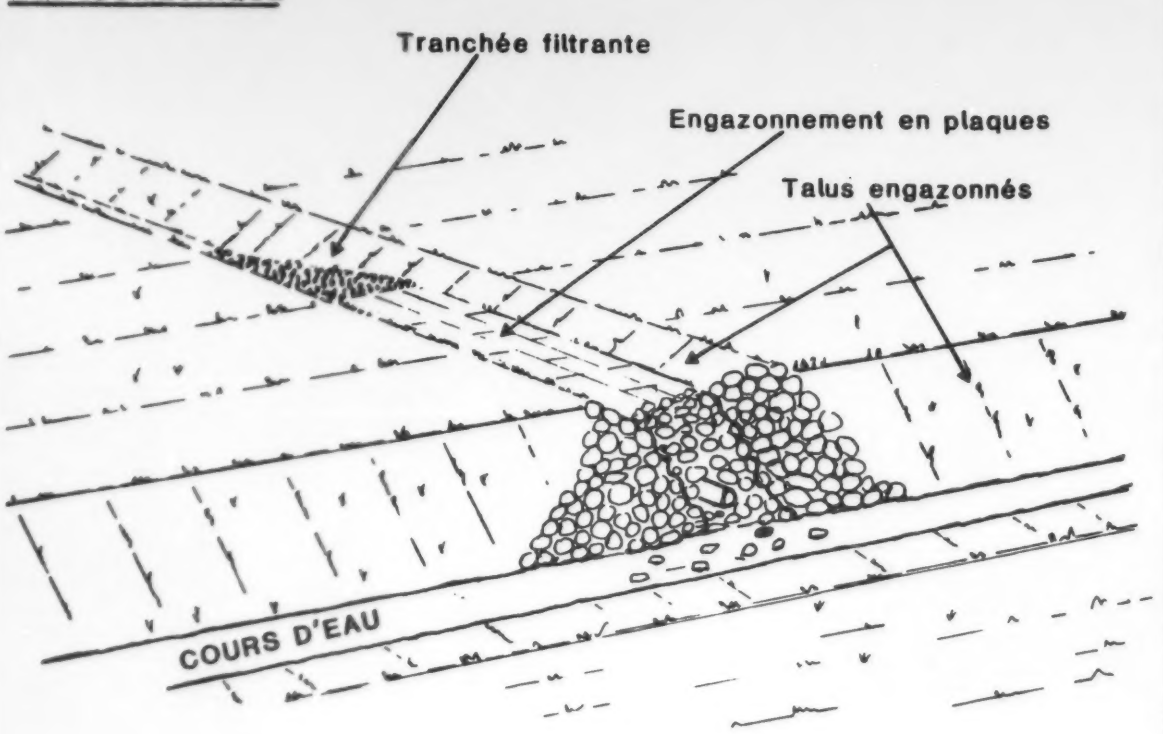
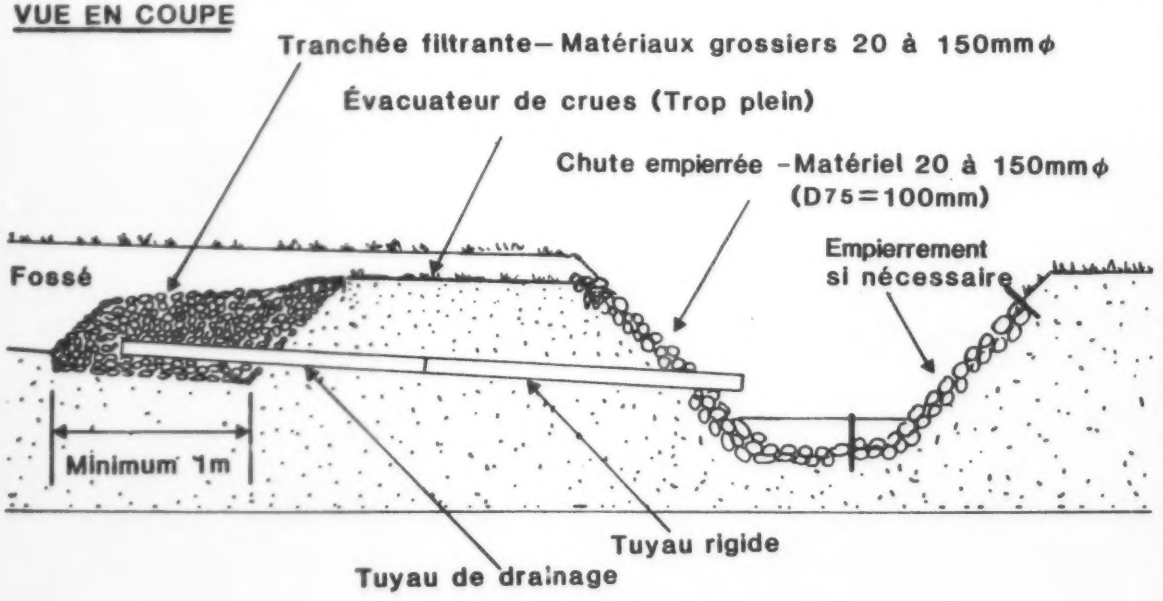


Figure 4.3 PROTECTION AVEC SEUIL





NOTE Il est important de vérifier si la granulométrie du matériel proposé pour la chute respecte les forces d'arrachement maximales lors d'un débit de pointe d'une récurrence donnée.

Figure 4.4 PROTECTION D'UNE DÉCHARGE DE VOIE D'EAU DE FAIBLE ENVERGURE – TRANCHÉE FILTRANTE.

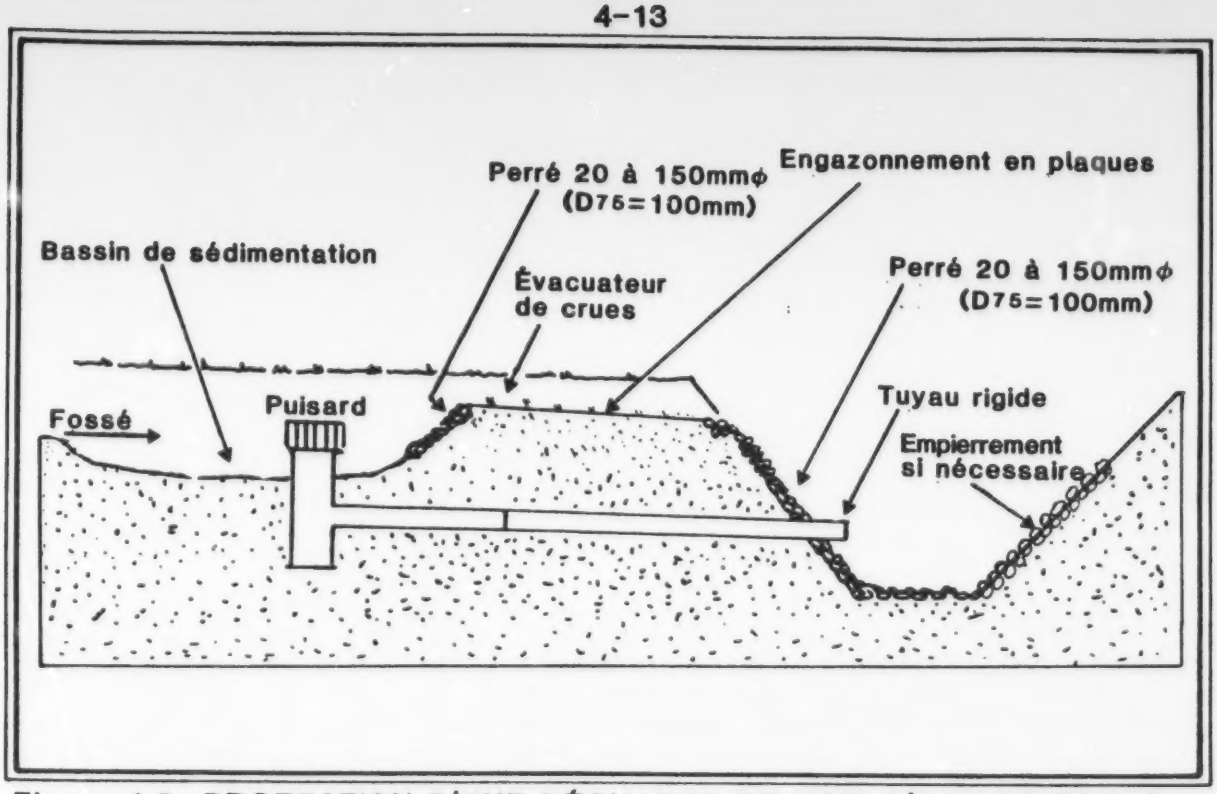


Figure 4.5 PROTECTION D'UNE DÉCHARGE DE VOIE D'EAU DE FAIBLE ENVERGURE - PUISARD.

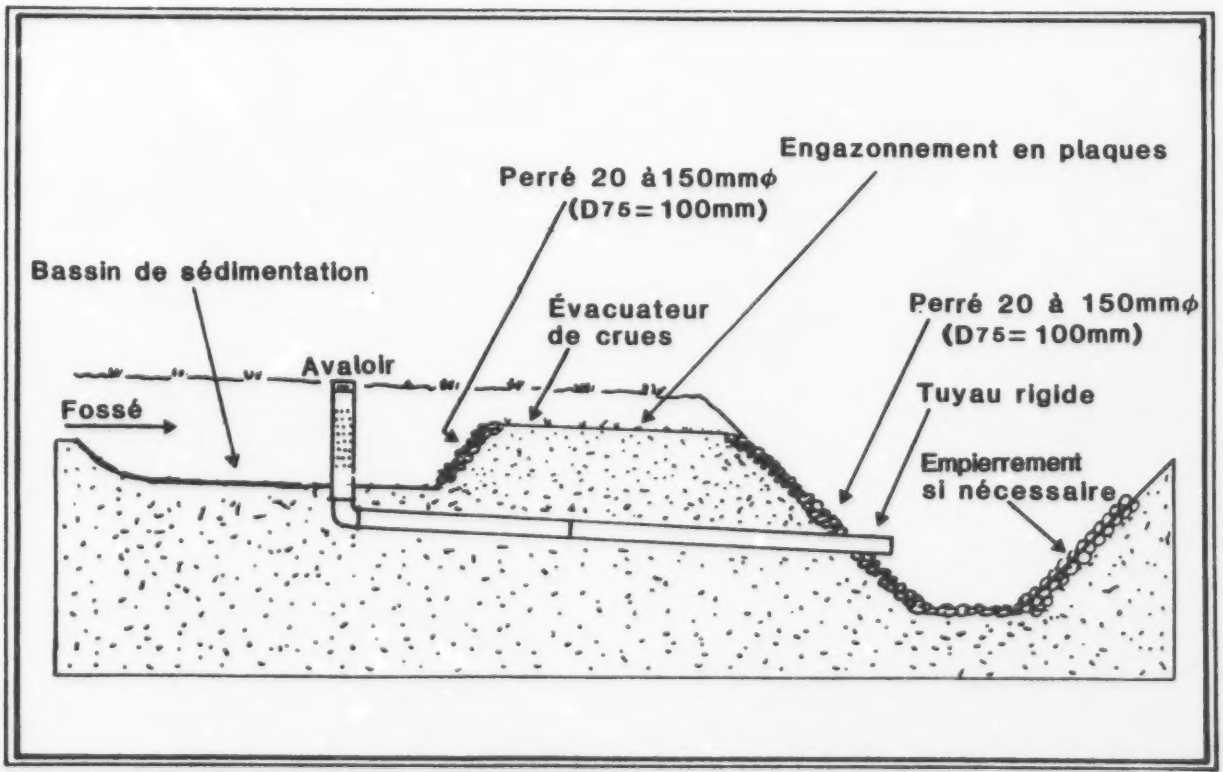


Figure 4.6 PROTECTION D'UNE DÉCHARGE DE VOIE D'EAU DE FAIBLE ENVERGURE - AVALOIR.

CHAPITRE 5

ABAISSEMENT DE BUTTES ET COMBLEMENT DE DÉPRESSIONS

ABAISSEMENT DE BUTTES
ET COMBLEMENT DE DÉPRESSIONS

Auteur: Gilles Noël, ingénieur

TABLE DES MATIERES

		PAGE
5.1	Domaine d'application	5-3
5.2	Définitions	5-3
5.2.1	Abaissement et comblement	5-3
5.2.2	Buttes et dépressions (300 mm et plus)	5-3
5.2.3	Coteaux	5-3
5.3	Préparation du projet	5-4
5.4	Modes d'exécution	5-4
5.5	Ensemencement du terrain	5-5
Figure 5.1	Décapeuse automotrice	5-6

5.0 ABAISSEMENT DE BUTTES ET COMBLEMENT DE DÉPRESSIONS

5.1 DOMAINE D'APPLICATION

Le présent chapitre a pour but de décrire les travaux d'abaissement de buttes et de comblement de dépressions visant à faciliter le passage de la machinerie agricole tout en conservant le sol et en facilitant l'écoulement de l'eau de surface.

5.2 DÉFINITIONS

5.2.1 ABAISSEMENT ET COMBLEMENT

Travaux qui s'effectuent en terrain accidenté pour améliorer ou récupérer des sols favorables à l'agriculture. Ces travaux d'aménagement consistent à rabattre les buttes, à combler les dépressions et à adoucir la pente des coteaux.

5.2.2 BUTTES ET DÉPRESSIONS (300 mm ET PLUS)

L'abaissement des buttes et le comblement des dépressions de 300 mm et plus s'effectuent pour favoriser le drainage de surface et faciliter les pratiques culturales. Le drainage de surface est complété par le modelage du terrain (voir chapitre 7 du présent cahier des normes). Cet aménagement se pratique sur les terrains où il est jugé rentable.

5.2.3 COTEAUX

Les coteaux sont généralement caractérisés par des pentes abruptes. L'abaissement des coteaux a donc pour but d'adoucir la pente afin de récupérer des

superficies en culture ou de faciliter le déplacement de la machinerie agricole. Ce nivellement s'effectue à une pente longitudinale maximale de 8% ou à une pente qui est franchissable par la machinerie agricole. La pente transversale doit avoir les mêmes caractéristiques.

5.3 PRÉPARATION DU PROJET

5.3.1 Une visite des lieux devrait être faite afin d'évaluer les pentes et les quantités de remblais et déblais et de déterminer la faisabilité des travaux. La nature du sous-sol devrait également être déterminée.

5.3.2 La rentabilité du projet peut être établie par la méthode proposée dans le "Guide d'analyse et d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles, chapitre 2".

5.4 MODES D'ÉXÉCUTION

5.4.1 Lors des travaux d'abaissement de buttes et de comblement de dépressions, le sol arable doit être décapé et placé en tas de manière à pouvoir être régalé sur le sol mis à nu une fois les travaux complétés.

5.4.2 Les travaux sont généralement effectués par un bouteur d'une capacité minimale de 85 kW ou par une décapeuse (figure 5.1) appropriée au volume de sol à déplacer. Ce travail s'effectue de préférence lorsque le sol est sec.

5.4.3 Lorsque le transport de sol est nécessaire (à plus de 30 mètres, ou selon les recommandations du surveillant des travaux), ce travail doit être exécuté à l'aide d'un chargeur sur roues, de camions ou de décapeuses, le choix de l'outillage étant fonction de l'ampleur des travaux.

5.4.4 Les travaux doivent être exécutés de manière à modeler le terrain (voir chapitre 7).

5.5 ENSEMENCEMENT DU TERRAIN

5.5.1 L'ensemencement des terrains doit suivre immédiatement les travaux d'abaissement et de comblement pour prévenir l'érosion hydrique et éolienne.

5.5.2 Selon les résultats des analyses du sol, le lit de semences doit recevoir les amendements et fertilisants nécessaires pour la croissances des plantes. Le lit de semence doit être préparé pour faciliter la germination et l'étalissement des plantes herbacées. Le sol doit être préférablement labouré. Il est ameubli à l'aide d'une herse (à dents ou autres) jusqu'à une profondeur de 25 mm.

5.5.3 Le semis doit s'effectuer de la fin d'avril à la fin de juin et entre le 15 août et le 15 septembre au plus tard.

-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

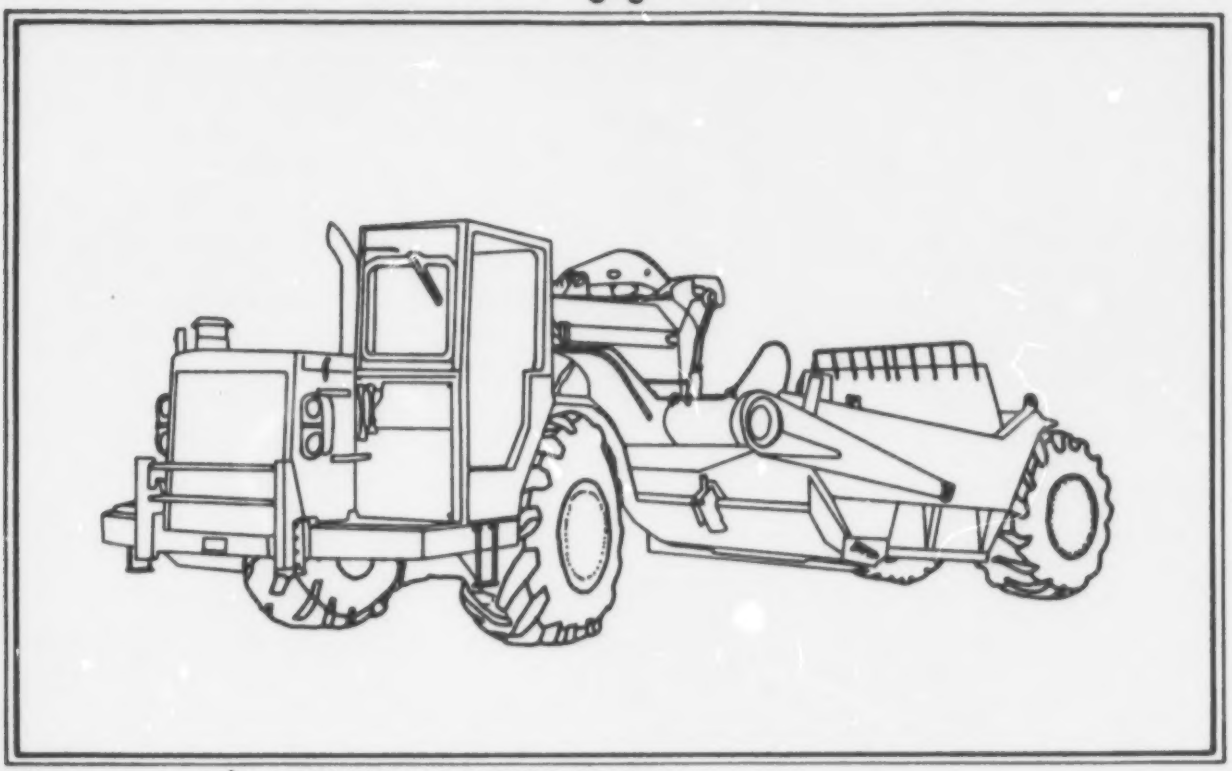


Figure 5.1 DÉCAPEUSE AUTOMOTRICE

CHAPITRE 6

IDENTIFICATION ET DÉFONÇAGE DES COUCHES INDURÉES NATURELLES ET DES COUCHES DE TEXTURE FORTEMENT CONTRASTANTE

IDENTIFICATION ET DÉFONCAGE DES COUCHES INDURÉES NATURELLES ET DE TEXTURE FORTEMENT CONTRASTANTE

Auteur: André Brunelle, agronome

TABLE DES MATIERES

			PAGE
6.1	Domaine d'application		6-3
6.2	Définitions		6-3
	6.2.1	Couches indurées naturelles	6-3
	6.2.2	Couches de texture fortement contrastantes	6-5
6.3	Etude et rapports		6-6
	6.3.1	Rapport de l'agronome conseiller agricole	6-6
	6.3.2	Rapport du spécialiste en sol	6-7
6.4	Outillage recommandé		6-8
Figures	6.1	Classes granulométriques fortement contrastantes	6-9
	6.2	Vue schématique de couches contrastantes	6-9
	6.3	Superposition de dépôts de texture différente	6-10

6.0 IDENTIFICATION ET DÉFONCAGE DES COUCHES INDURÉES NATURELLES ET DE TEXTURE FORTEMENT CONTRASTANTE

6.1 DOMAINE D'APPLICATION

Ce chapitre a pour but de décrire les différentes couches naturelles de sol qui peuvent causer un ralentissement de l'écoulement de l'eau dans le sol ou du développement des racines et de recommander les travaux de correction.

6.2 DÉFINITIONS

6.2.1 COUCHES INDURÉES NATURELLES

Les couches indurées naturelles sont celles qui résultent de processus naturels d'évolution des sols et excluent toute couche résultant directement de l'action antrophique de même que l'horizon illuvial (Bt) mentionné en 6.2.2.1 b).

6.2.1.1 Liste des horizons considérés comme des couches indurées naturelles. Selon la définition du "Système canadien de classification des sols" Agr. Can, 1646, 1978, les horizons sont divisés en quatre types différents:

a) Horizon de type fragipan (x)

Un fragipan est un horizon sous-jacent loameux, de densité apparente élevée; sa teneur en matière organique est très faible. A l'état sec, il a une consistance dure et apparamment cimentée. A l'état humide, il a une fragilité modérée à faible. Il présente souvent des plans de fracture décolorés et

est surmonté d'un horizon B friable. Les mottes d'horizons fragiques séchées à l'air se désagrègent dans l'eau.

b) Horizon durique

Un horizon durique est un horizon fortement cimenté qui ne rencontre pas les critères d'un horizon B podzolique. Sa limite supérieure est habituellement abrupte avec un horizon B podzolique sus-jacent ou un Bm et sa limite inférieure est diffuse et à plus de 50 cm plus bas. La cimentation est généralement à son plus fort près de la limite supérieure qui se rencontre communément à la profondeur de 40 à 80 cm de la surface minérale. Généralement, la couleur de l'horizon durique diffère peu de celle du matériau parental de texture modérément grossière et, d'ordinaire, la structure est massive ou lamellaire très grossière. Les mottes séchées à l'air des horizons duriques ne se désagrègent pas lorsqu'elles sont immergées dans l'eau et les mottes humides de 3 cm ou plus d'épaisseur ne peuvent généralement pas être brisées à la main.

c) Horizon à ortstein

Un horizon ortstein est un horizon Bh, Bhf ou Bf fortement cimenté d'au moins 3 cm d'épaisseur, qui se trouve dans plus de 1/3 de la face exposée du pédon. Les horizons d'ortstein sont généralement brun rougeâtre à brun rougeâtre très foncé.

d) Horizon placique

Un horizon placique est une mince couche (généralement de 5 mm ou moins d'épaisseur) ou série de minces couches irrégulières ou ondulées, dures, imper-

méables, souvent vitreuses, et brun rougeâtre foncé à noire. Les horizons placiques peuvent être cimentés par le Fe, les complexes organiques d'Al (Bhfc ou Bfc), les oxydes hydratés de Fe ou (Bgfc) ou un mélande d'oxyde de Fe et de Mn.

6.2.2 COUCHES DE TEXTURE FORTEMENT CONTRASTANTE

Une couche de sol de texture fortement contrastante se définit comme une couche d'au moins 2 cm d'épaisseur dont la texture diffère radicalement du matériel sus et sous-jacent à celle-ci. A cette fin 3 regroupements de texture sont reconnus soit:

- sableux
- loameux
- argileux

Ces textures sont issues du regroupement des classes granulométriques reconnues au niveau de la famille de sol et illustrées à la figure 6.1.

De plus, une couche de texture fortement contrastante doit rencontrer les critères suivants:

a) être située à une profondeur inférieure à 60 cm;
b) être d'origine naturelle, c'est-à-dire résulter du mode de mise en place du dépôt;
c) être distincte, la transition entre cette couche contrastante et le reste du matériel doit être inférieure à 12 cm d'épaisseur (figure 6.2);
d) la dite couche contrastante doit être précédée et suivie de matériel s'apparentant à celui du profil (figure 6.2).

6.2.2.1 Liste des couches exclues de la présente définition:

a) la présence d'un horizon éluvial (Ae) qui est souvent de texture plus légère ne constitue pas une couche contrastante;
b) la présence d'un horizon illuvial (Bt) situé dans un matériel relativement homogène ne constitue pas en soi une couche contrastante;
c) les argiles varvées ne peuvent être considérées comme une succession de couches contrastantes;
d) la superposition de deux dépôts de texture différente ne constitue pas une couche contrastante (figure 6.3).

6.3 ÉTUDE ET RAPPORTS

6.3.1 RAPPORT DE L'AGRONOME CONSEILLER AGRICOLE

Etant donné la variabilité spatiale des sols, la présence de ces couches devra être vérifiée par l'agronome conseiller en faisant au moins 2 tranchées d'observation par hectare (profondeur minimale 60 cm).

Plus spécifiquement, le rapport de l'agronome conseiller agricole doit contenir entre autres:

- une description sommaire de la nature de la contrainte (exemple: une couche argileuse de 4 cm d'épaisseur située à une profondeur variant entre 20 et 30 cm ou un horizon de type ortstein de 5 cm d'épaisseur situé à une profondeur variant entre 20 et 35 cm);
- une mesure relativement exacte de la superficie concernée et une localisation précise de la superficie à l'aide d'un plan à l'échelle préfé-

rablement produit à partir d'un plan de ferme (numéro de champ, numéro de lot, etc...);
- la période à laquelle les travaux de défoncement pourraient être exécutés selon les disponibilités offertes par la culture.

6.3.2 RAPPORT DU SPÉCIALISTE EN SOL

Suite à la réception du rapport initial, un spécialiste en sol devra faire l'examen des lieux afin de préciser la nature de la contrainte, la décrire précisément et suggérer le mode d'action le plus susceptible de produire des effets durables.

Plus spécifiquement, le rapport doit établir:

a) la nature de la contrainte (exemple: un horizon ortstein de 5 cm d'épaisseur situé généralement entre 20 et 40 cm de profondeur);
b) la sévérité de celle-ci en regard de ses effets mesurables (enracinement moindre, nappes d'eau perchées...);
c) la superficie où un défonçage serait envisagé et sa localisation exacte;
d) la profondeur de défonçage et les conditions de travail à respecter; certaines couches peuvent être brisées en conditions humides alors que d'autres ne peuvent l'être qu'en conditions sèches.

6.4 OUTILLAGE RECOMMANDÉ

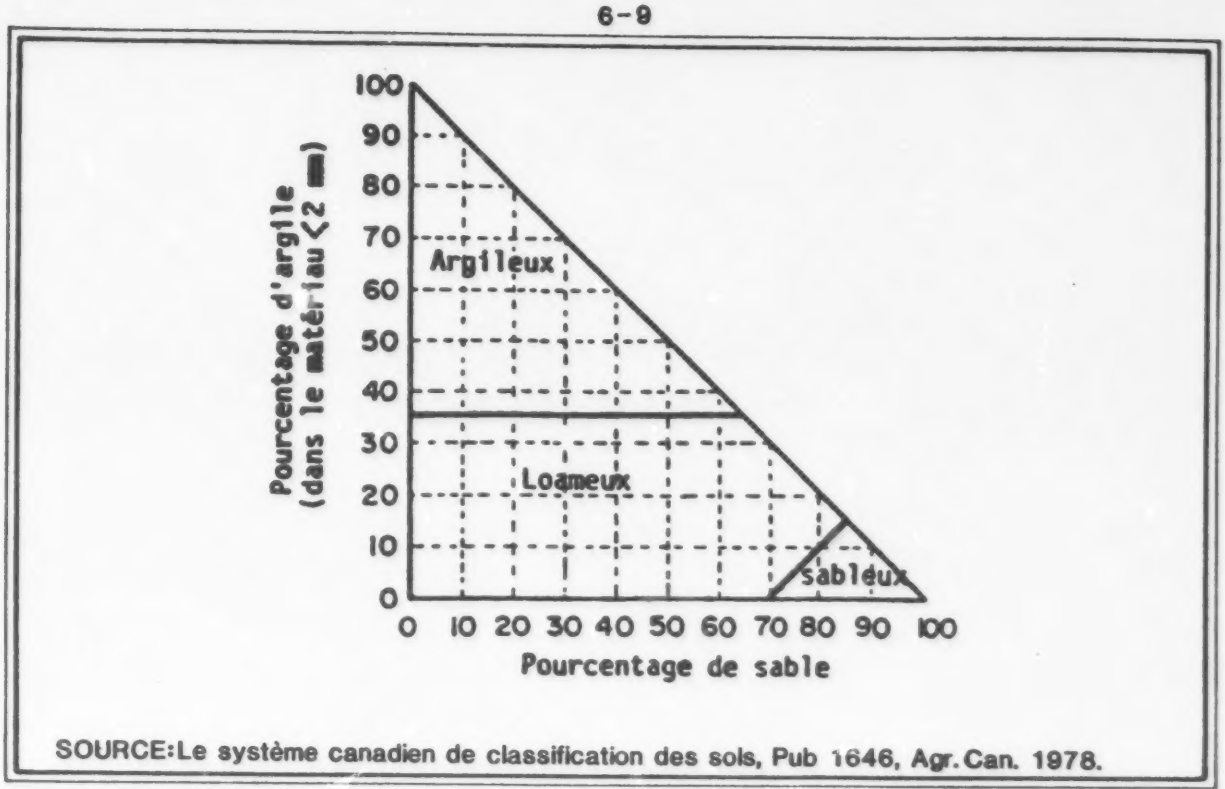
Les outillages recommandés par ordre d'importance sont:

- la sous-soleuse à dents multiples munies d'ailettes;
- la défonceuse à dents multiples.

La distance entre les passages de la machine et le mode de travail est déterminée par l'outillage recommandé.

NOTE: La largeur de travail doit être égale ou plus grande que la largeur du tracteur pour éviter le compactage du sol.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-



SOURCE:Le système canadien de classification des sols, Pub 1646, Agr.Can. 1978.

Figure 6.1 CLASSES GRANULOMÉTRIQUES FORTEMENT CONTRASTANTES.

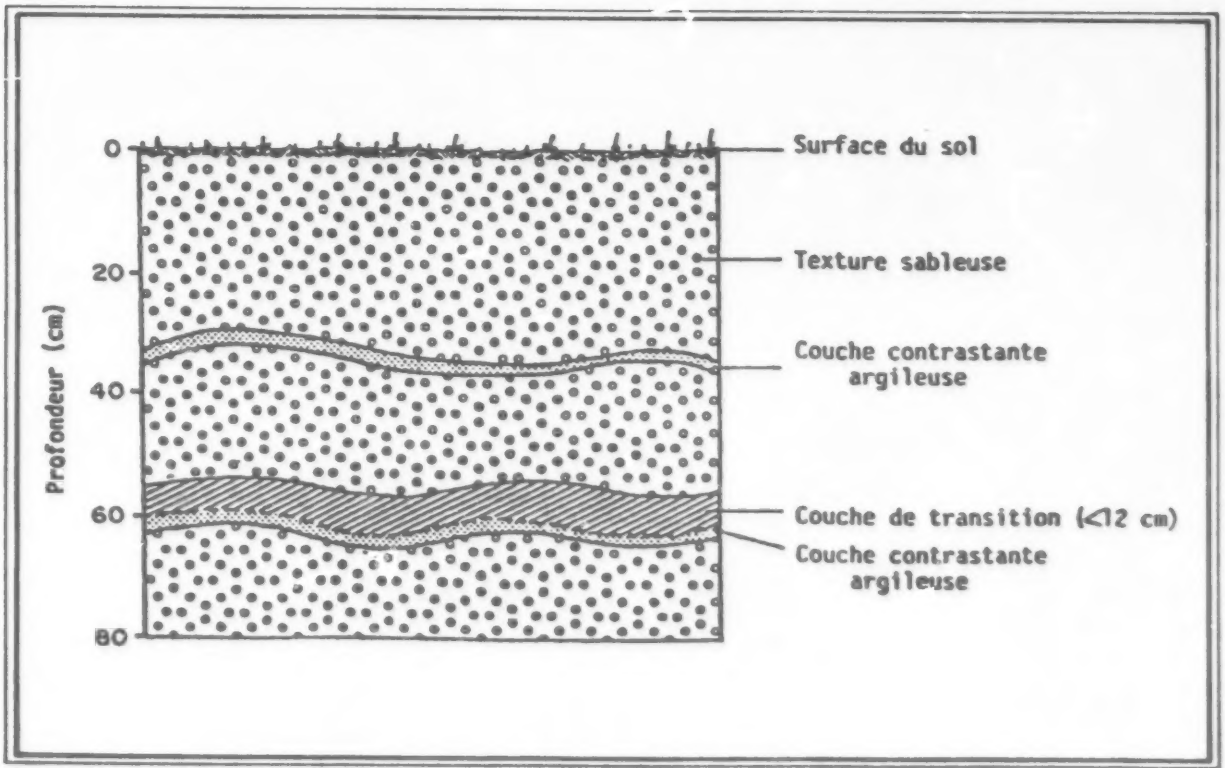


Figure 6.2 VUE SCHÉMATIQUE DE COUCHES CONTRASTANTES.

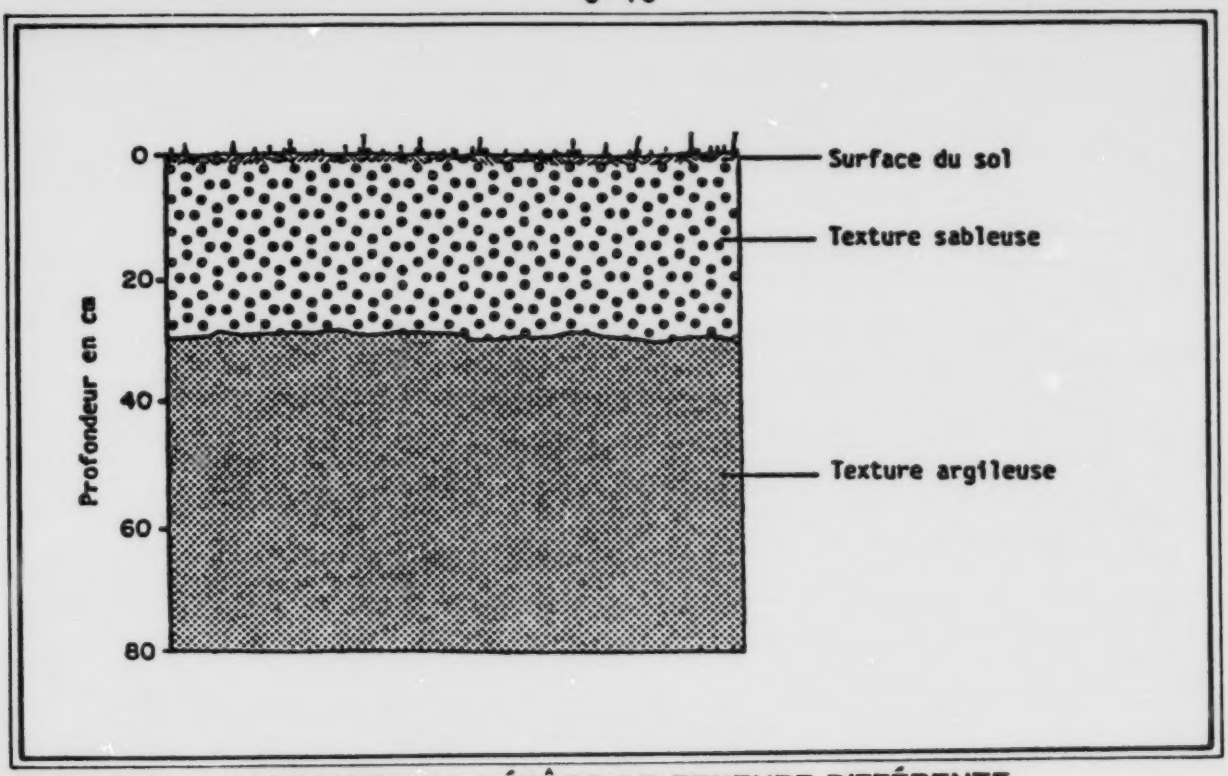


Figure 6.3 SUPERPOSITION DE DÉPÔTS DE TEXTURE DIFFÉRENTE.

CHAPITRE 7

MODELAGE DE TERRAIN ET APLANISSEMENT DU SOL

MODELAGE DU TERRAIN ET APLANISSEMENT DU SOL

Auteurs: Rémi Asselin, ingénieur et agronome
Raymond Bernier, ingénieur
Georges Dugal, ingénieur et agronome
Paul Fournier, ingénieur
Côme Nolet, ingénieur
Victor Savoie, ingénieur et agronome

TABLE DES MATIERES

			PAGE
7.1	Domaine d'application		7-3
7.2	Définitions des termes		7-3
	7.2.1	Drainage de surface ou superficiel	7-3
	7.2.2	Types de terrain	7-3
	7.2.3	Types de travaux ou de structures	7-4
7.3	Types d'aménagement		7-5
	7.3.1	Modelage en planches	7-5
	7.3.2	Aplanissement du sol	7-5
7.4	Relevé topographique et mise en plan		7-6
7.5	Conception du projet		7-6
	7.5.1	Considérations générales	7-6
	7.5.2	Terrains dont la pente est inférieure à 0,3 %	7-7
	7.5.3	Terrains dont la pente est comprise entre 0,3 % et 1,0 %	7-8
	7.5.4	Terrains dont la pente est supérieure à 1,0 %	7-8
	7.5.5	Raies de curage	7-8
	7.5.6	Rigoles d'interception	7-9
7.6	Exécution des travaux		7-10
Tableaux	7.1	Choix du mode de drainage de surface en fonction de la topographie et des propriétés du sol	7-12
	7.2	Caractéristiques des planches en faîte	7-12
	7.3	Construction d'une rigole d'interception	7-13
	7.4	Séquence des aménagements	7-13
Figures	7.1	Planche à deux versants	7-14
	7.2	Planche à un versant	7-15
	7.3	Pentes à considérer pour la planche à un versant	7-16
	7.4	Evacuation sécuritaire des eaux de surface vers un cours d'eau	7-16
	7.5	Aplanissement dans les terrains en pente	7-17
	7.6	Structures de captage et d'évacuation	7-18
	7.7	Aplanissement du sol combiné aux rigoles d'interception et voie d'eau engazonnée	7-19
	7.8	Rigole d'interception en travers de la pente	7-20
	7.9	Dimensionnement des canaux triangulaires	7-21
	7.10	Niveleuse au laser	7-22
	7.11	Niveleuse de ferme	7-22
Annexe	A-7	Aplanissement sur les pentes longues Calcul de l'espacement entre les rigoles d'interception (tableaux A-7.1 et A-7.2 et figures A-7.1 à A-7.3)	7-23

7.0 MODELAGE DU TERRAIN ET APLANISSEMENT DU SOL

7.1 DOMAINE D'APPLICATION

Le présent chapitre décrit les aménagements de drainage superficiel ainsi que les types de terrain pouvant en bénéficier.

7.2 DÉFINITION DES TERMES

7.2.1 DRAINAGE DE SURFACE OU SUPERFICIEL

Enlèvement ordonné de l'excès d'eau en aménageant la surface du terrain de façon à faciliter l'écoulement de l'eau vers des canaux naturels ou aménagés comme émissaires. Les termes drainage de surface, drainage superficiel et égouttement superficiel sont considérés équivalents dans le présent texte.

7.2.2 TYPES DE TERRAIN

Pour les fins de drainage superficiel, nous considérons comme terrains plats ceux dont la pente générale est inférieure à 1,0 %. Ces terrains peuvent exiger un modelage pour assurer l'écoulement en surface.

Les terrains dont la pente générale est supérieure à 1,0 % sont appelés terrains en pente. Dans ces derniers, des travaux d'aplanissement combinés à des constructions de drain de surface sont nécessaires pour l'évacuation des eaux de ruissellement.

7.2.3 TYPES DE TRAVAUX OU DE STRUCTURES

7.2.3.1 Aplanissement: travaux visant à éliminer les irrégularités du terrain, buttes et dépressions, favorisant ainsi l'infiltration uniforme de la précipitation ou son écoulement sur toute la surface. Ces travaux sont faits suivant la pente naturelle.

7.2.3.2 Modelage de surface : travaux visant à changer la surface naturelle du terrain et à modifier le mouvement de l'eau de surface. Dans cette catégorie entre la confection de planches à pente faible et constante.

7.2.3.3 Modelage en planches : travaux consistant à modeler un terrain en bandes d'une certaine largeur pour changer ou orienter l'écoulement des eaux dans une direction donnée, soit vers une raie de curage, une rigole ou tout autre émissaire.

7.2.3.4 Nivellement : au sens propre du terme, les travaux de nivellement consistent à modifier la surface d'un terrain selon certaines spécifications pour faciliter l'application uniforme de l'eau. Ces travaux changent la topographie naturelle et sont surtout exécutés en fonction de l'irrigation de surface.

7.2.3.5 Voie d'eau : de façon générale, c'est une canalisation peu profonde et évasée pouvant être traversée par la machinerie et servant à évacuer le ruissellement d'une superficie donnée.

7.2.3.6 Intercepteur : canalisation de profondeur variable, placée en travers de la pente et servant à intercepter le ruissellement ou l'écoulement souterrain provenant de la superficie en amont.

7.2.3.7 Raie de curage : c'est la dérayure située entre chaque planche de labour. En drainage superficiel, elle est définie comme une canalisation peu profonde, traversable par la machinerie, délimitant les planches et servant à recevoir les eaux provenant de la surface ou sous le labour.

7.2.3.8 Rigole : c'est une canalisation peu profonde et évasée destinée à recevoir les eaux provenant des raies de curage. Lorsqu'elle sert d'intercepteur elle est appelée rigole d'interception.

7.3 TYPES D'AMÉNAGEMENT

7.3.1 MODELAGE EN PLANCHES

Le modelage en planches peut être réalisé sur les terrains dont la pente est inférieure à 1%. Selon la pente prédominante, le modelage sera à 1 versant ou 2 versants. (tableau 7.1)

7.3.2 APLANISSEMENT DU SOL

L'aplanissement peut être utilisé sur tous les types de terrain pour régulariser la surface du sol et éliminer les dépressions mineures (30 cm et moins). Il convient bien au terrain dont la pente excède 1% en combinaison avec des canalisations de surface comme mode d'égouttement superficiel.

7.4 RELEVÉ TOPOGRAPHIQUE ET MISE EN PLAN

7.4.1 Un relevé topographique de la ferme ou une partie de la ferme est effectué en tenant compte que le projet doit être établi sur une superficie qui alimente le bassin versant.

7.4.2 Le relevé altimétrique doit être fait à tous les 25 m. De plus, tous les points hauts et bas du terrain, ainsi que toutes les voies d'eau existantes doivent être relevés.

7.4.3 L'épaisseur de la couche arable doit être vérifiée selon les caractéristiques du terrain.

7.4.4 Le plan topographique doit avoir les caractéristiques suivantes:

a) échelle de 1: 2000;
b) courbes de niveau tracées aux 0,25 m;
c) points cotés à tous les 25 m dans les 2 sens;
d) profils en travers et longitudinal à tous les 200 m, un minimum de 2 profils étant requis.

7.5 CONCEPTION DU PROJET

7.5.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

7.5.1.1 Le choix du type d'aménagement doit reposer sur la pente prépondérante existant sur le terrain, qu'elle soit longitudinale ou transversale par rapport à la ferme. Le tableau 7.1 propose des types d'aménagement selon les caractéristiques du site.

7.5.1.2 Lorsque les pentes sont longues, des rigoles d'interception et des voies d'eau engazonnées doivent être prévues (figure 7.7).

7.5.1.3 Pour les cultures annuelles (sol nu au printemps), la longueur des aménagements entre les rigoles ne devrait pas dépasser 400 m sur les terrains dont la pente est inférieure à 1%. Sur les terrains dont la pente est supérieure à 1%, l'espacement entre les rigoles peut être calculé selon l'équation universelle des pertes de sol (annexe A-7). La dimension de la rigole est fixée selon la figure 7.9, en calculant le débit selon le nomogramme de Mike White (chapitre 1) et en prenant un coefficient de ruissellement de 0,90 pour les conditions pouvant exister lors de la fonte des neiges.

7.5.2 TERRAINS DONT LA PENTE EST INFÉRIEURE A 0,3 %

7.5.2.1 Dans le cas où les pentes longitudinale et transversale sont inférieures à 0,3 %, un modelage en planches à 2 versants à pente faible et constante est recommandé (figure 7.1).

7.5.2.2 La largeur de la planche est fonction de la géométrie de la ferme ou de la parcelle et du volume de sol à déplacer. D'après l'expérience, une largeur minimale de 60 m est recommandée pour faciliter le travail de la niveleuse au laser.

7.5.2.3 Dans le cas d'aménagement initial du terrain, la pente des versants de la planche peut être aussi faible que 0,15 % sans excéder 0,5 % et le terrain ne doit avoir aucune contre-pente ou dépres-

sion (tableau 7.2).

7.5.2.4 Dans le cas où d'anciennes planches sont regroupées, le profil final du terrain doit se rapprocher le plus possible de la topographie existante pour minimiser les déplacements de sol.

7.5.3 **TERRAINS DONT LA PENTE EST COMPRISE ENTRE 0,3 % ET 1,0 %**

Lorsque la pente du terrain est uniforme et comprise entre 0,30 % et 1,0 %, on recommande l'aménagement de planches à 1 seul versant (figure 7.2).

7.5.4 **TERRAINS DONT LA PENTE EST SUPÉRIEURE A 1,0 %**

7.5.4.1 Pour les terrains dont la pente est supérieure à 1,0 % des travaux d'aplanissement sont suffisants pour éliminer les dépressions et assurer l'écoulement des eaux de ruissellement.

7.5.4.2 Lorsque les dépressions sont trop importantes pour être remblayées, elles sont drainées au moyen d'une voie d'eau engazonnée ou d'une structure de captage et d'une canalisation souterraine (figures 7.5, 7.6 et chapitre 9). Il faut cependant privilégier cette dernière façon de faire tant pour faciliter la culture que pour éviter l'érosion possible.

7.5.5 **RAIES DE CURAGE**

7.5.5.1 La raie de curage est formée par la rencontre des 2 versants de la planche.

7.5.5.2 L'orientation des raies de curage se fait selon la plus faible pente du terrain pour minimiser les risques d'érosion.

7.5.5.3 Dans le cas de la planche à 1 versant, la raie de curage aura un talus dont la pente sera de 1:10 et l'autre suivra la pente de la planche (figure 7.3).

7.5.5.4 Leur dimensionnement se fera de la même façon que pour les rigoles d'interception (art. 7.5.6.5).

7.5.5.5 Il faut éviter de faire déboucher chaque raie de curage dans un cours d'eau. Les eaux provenant de plusieurs raies de curage sont plutôt canalisées par une rigole d'interception vers une structure protégeant les talus du cours d'eau (figure 7.4).

7.5.6 RIGOLES D'INTERCEPTION

7.5.6.1 Elles servent à intercepter le ruissellement au pied des coteaux.

7.5.6.2 Elles sont utilisées pour évacuer l'eau provenant des raies de curage dans le cas où leur longueur excède les limites permises.

7.5.6.3 Elles sont utilisées pour raccourcir la longueur de la pente et pour acheminer les eaux de ruissellement vers une voie engazonnée (figure 7.7).

7.5.6.4 Ces rigoles d'interception sont de forme triangulaire, larges et peu profondes. Leur dimen-

sionnement et leur construction seront faits selon les caractéristiques proposées au tableau 7.3 et aux figures 7.8 et 7.9.

7.5.6.5 La vitesse permise en canal nu ne doit pas dépasser 0,6 m/s. Lorsque les vitesses sont plus grandes, les rigoles doivent être maintenues engazonnées (figure 7.9).

7.5.6.6 Elles sont généralement placées perpendiculairement à la pente la plus forte.

7.5.6.7 Ces rigoles doivent être traversables par la machinerie agricole. On prendra soin de relever les instruments lors du passage.

7.6 EXÉCUTION DES TRAVAUX

7.6.1 Les travaux d'aplanissement ou de modelage doivent se faire sur un sol sec préalablement labouré, hersé et où les résidus de récolte sont partiellement décomposés. Les gros déchets ou roches doivent être enlevés du terrain avant les travaux de construction des planches.

7.6.2 Selon la topographie, le profilage initial ou grossier peut être exécuté au moyen d'une niveleuse de ferme (figure 7.11) ou par un bouteur (figure 2.2).

7.6.3 Les travaux d'aplanissement et de modelage seront exécutés au moyen d'une niveleuse contrôlée par laser, (figure 7.10) partout où les pentes sont inférieures à 1,5%. La niveleuse de ferme à longue portée pourra donner un résultat acceptable dans les

pentes supérieures.

7.6.4 Il est recommandé de herser entre les passages de la niveleuse afin d'augmenter l'efficacité de la niveleuse.

7.6.5 Une fois les travaux d'aplanissement complétés, il est recommandé de labourer ou de passer un chisel afin de briser la couche de sol compacté. Généralement, la zone tassée se situe entre 0 et 300 mm.

7.6.6 Pour les deux années suivant la construction initiale, il est recommandé de faire une culture annuelle qui permettra de refaire une passe de niveleuse pour éliminer les dépressions apparues à la suite de la reprise de densité du sol dans les parties remblayées. Dans nos conditions une culture d'orge est la plus appropriée.

7.6.7 La cédule de travail présentée au tableau 7.4 permet de diminuer les coûts d'aménagement pour passer d'anciennes planches rondes à des aplanissements de plus grandes dimensions.

-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

Tableau 7.1 Choix du mode de drainage de surface en fonction de la topographie et des propriétés du sol.

Conductivité hydraulique (K) et profondeur (P) du sol	PENTE DU TERRAIN (s) EN %		
	S < 0,30 %	0,30 % ≤ S ≤ 1,0 %	S > 1,0 %
K ≤ 0,03 m/j p > 0,9 m ou K > 0,03 m/j P < 0,9 m	Planche à pente faible	Planche à 1 versant perpendiculaire à la pente du terrain	Aplanissement, rigole d'interception et voie d'eau engazonnée
0,03 < K ≤ 1,0 m/j P > 0,9 m	Planche à pente faible et drainage souterrain	Planche à 1 versant perpendiculaire à la pente du terrain et drainage souterrain	Aplanissement, rigole d'interception et voie d'eau engazonnée et drainage souterrain
K > 1,0 m/j P > 0,9 m	Aplanissement et drainage souterrain	Aplanissement et drainage souterrain	Aplanissement et drainage souterrain

Tableau 7.2 Caractéristiques des planches en faîte

CARACTÉRISTIQUES	MINIMUM	MAXIMUM
Largeur en m	60*	100
Pente transversale ou vers la raie de curage, %	0,15	0,5
Pente de la raie	0,10	0,30

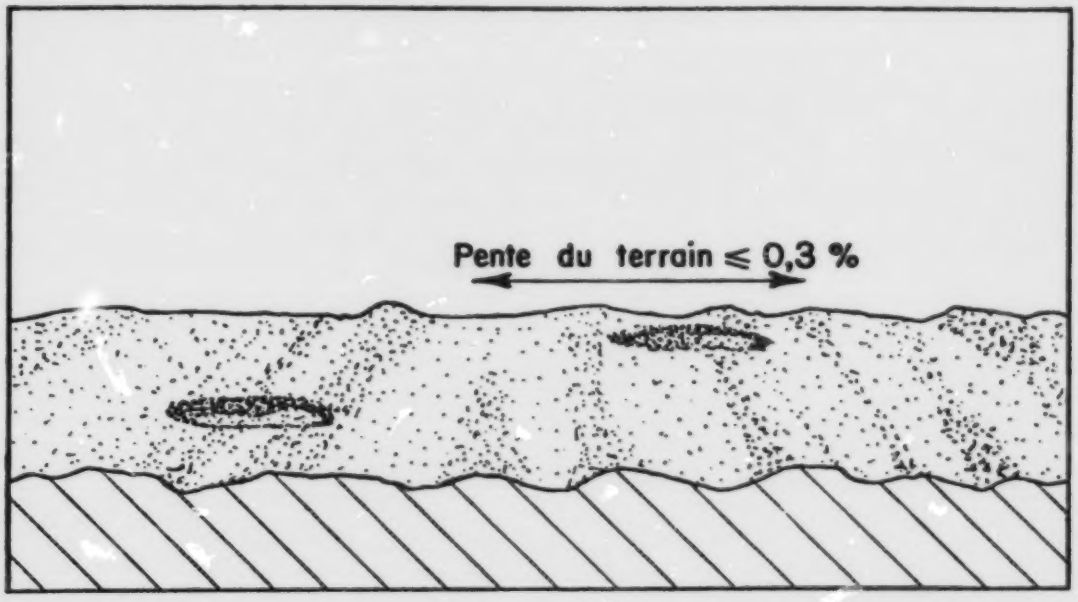
(* voir article 7.5.2.2)

Tableau 7.3 Construction d'une rigole d'interception
Forme triangulaire

Profondeur, m	0,30 - 0,50
Pente des côtés	1 V : 10 H
Largeur au fond, m	----
Largeur au sommet, m	6 - 12
Section, m^2	0,9 - 3,0
Pente, %	0,1 - 2,0

Tableau 7.4 Séquence des aménagements

Dénivellation entre le sommet des planches et le fond de la raie	Type de travaux et équipements requis	Délai de transition (année)	Rendement Niveleuse au laser (h/ha)
30 cm et moins	- l'adossement dans les raies de curage; - aplanissement final avec niveleuse au laser.	1	3
30 - 50 cm	1ère année: adosser à 2 reprises dans les raies et/ou utiliser une niveleuse de ferme pour remblayer les raies ou dépressions les plus apparentes; 2e année : aplanissement final avec niveleuse au laser.	2	4
50 - 100 cm	1ère et 2e année: adosser successivement dans les raies et utiliser une niveleuse de ferme pour remblayage; 3e année: aplanissement final à la niveleuse au laser.	3	5



Dans les terrains dont la pente est inférieure à 0,15 %, on aménagera des planches à 2 versants.

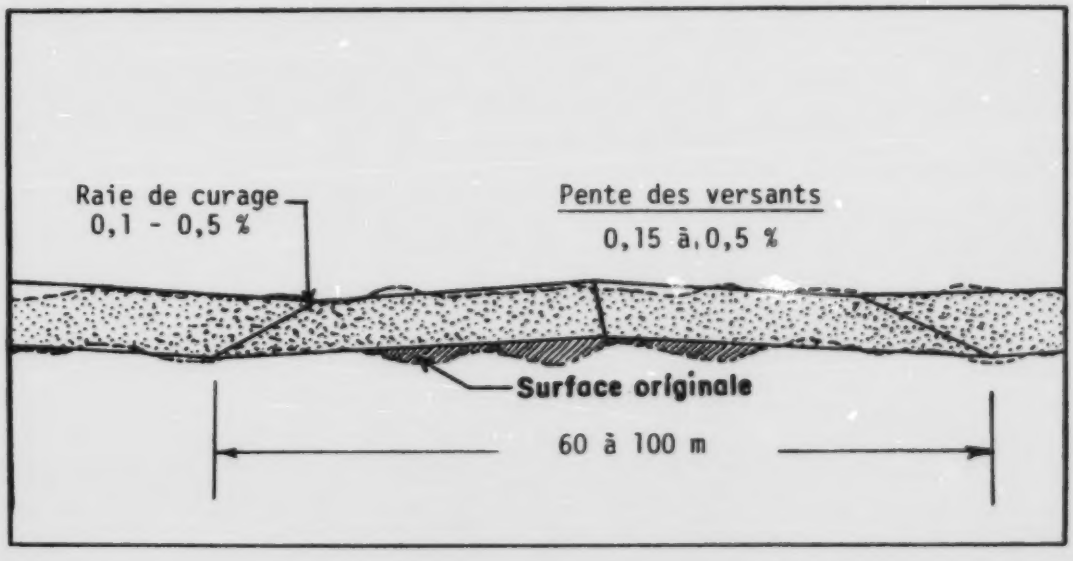
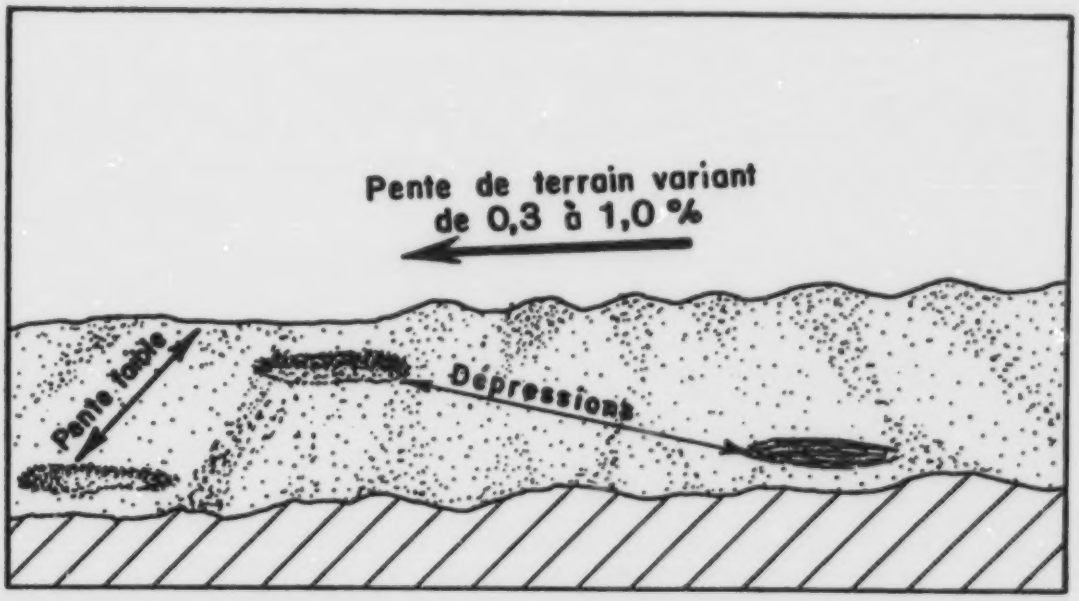


Figure 7.1 PLANCHE À DEUX VERSANTS À PENTE FAIBLE ET CONSTANTE.



Lorsque la pente du terrain est supérieure à 0,15 %, on pourra aménager des planches à 1 seul versant.

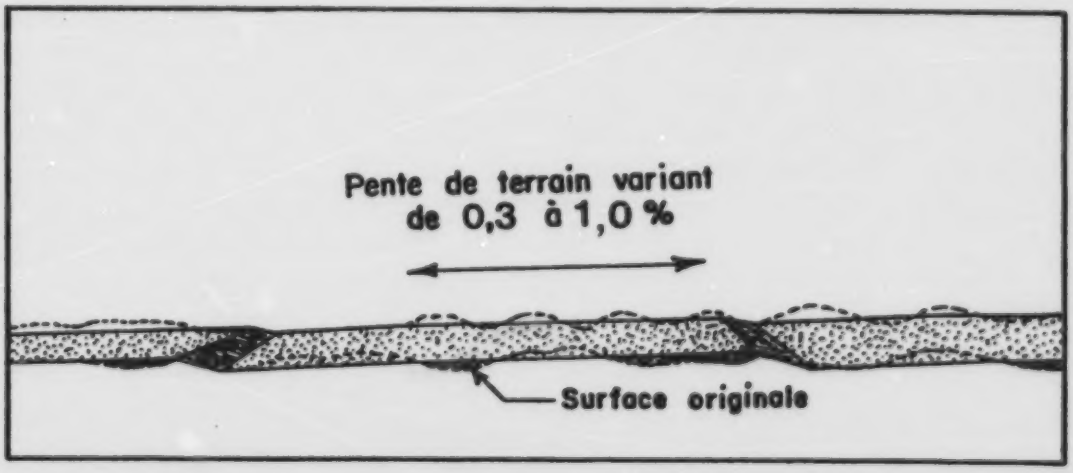


Figure 7.2 AMÉNAGEMENT DE LA PLANCHE À UN VERSANT SELON LA PENTE DU TERRAIN.

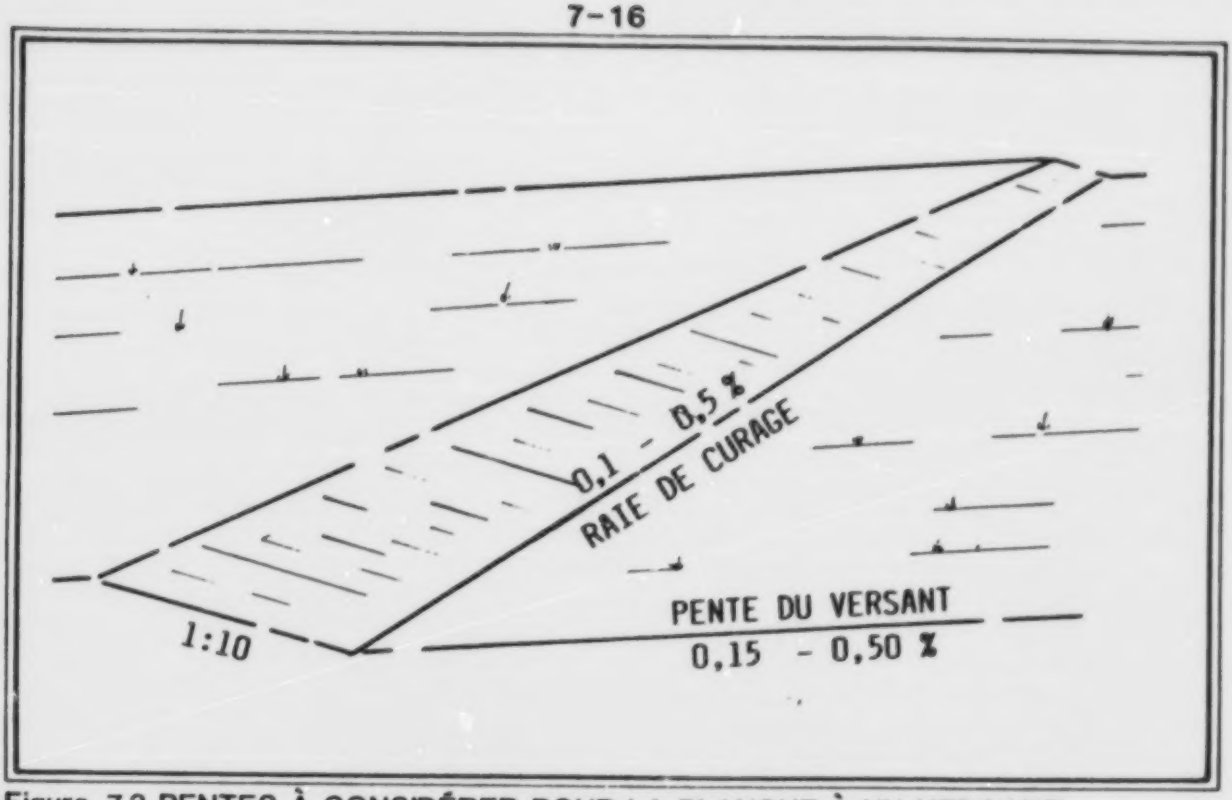


Figure 7.3 PENTES À CONSIDÉRER POUR LA PLANCHE À UN VERSANT.

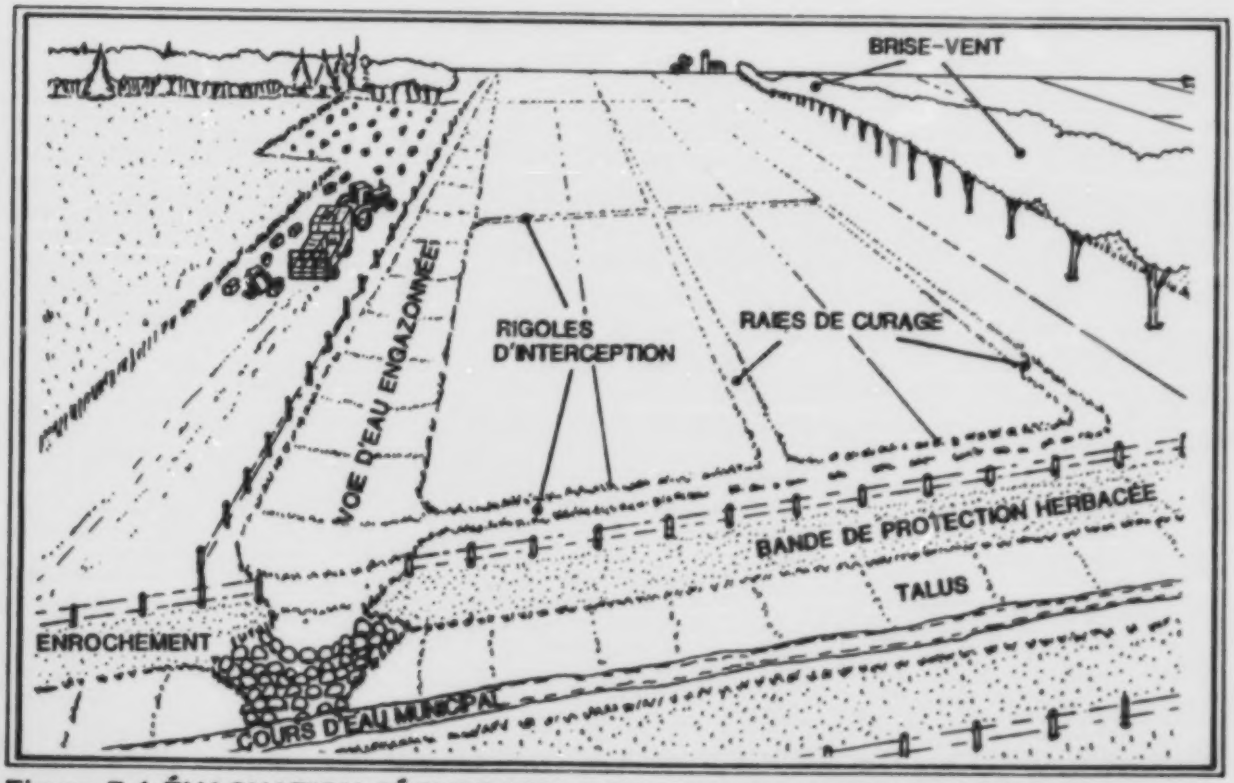


Figure 7.4 ÉVACUATION SÉCURITAIRE DES EAUX DE SURFACE VERS UN COURS D'EAU.

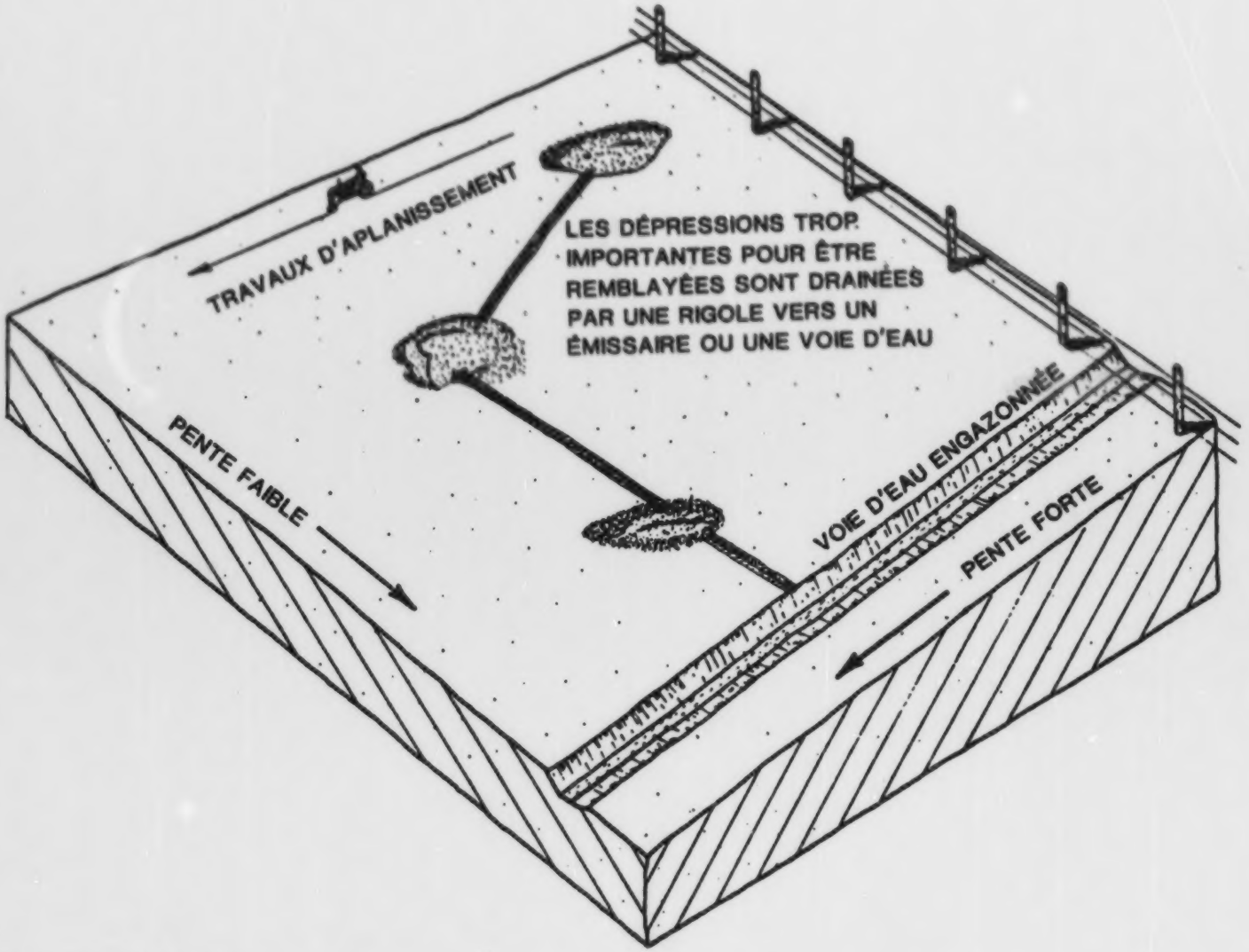


Figure 7.5 APLANISSEMENT DANS LES TERRAINS EN PENTE

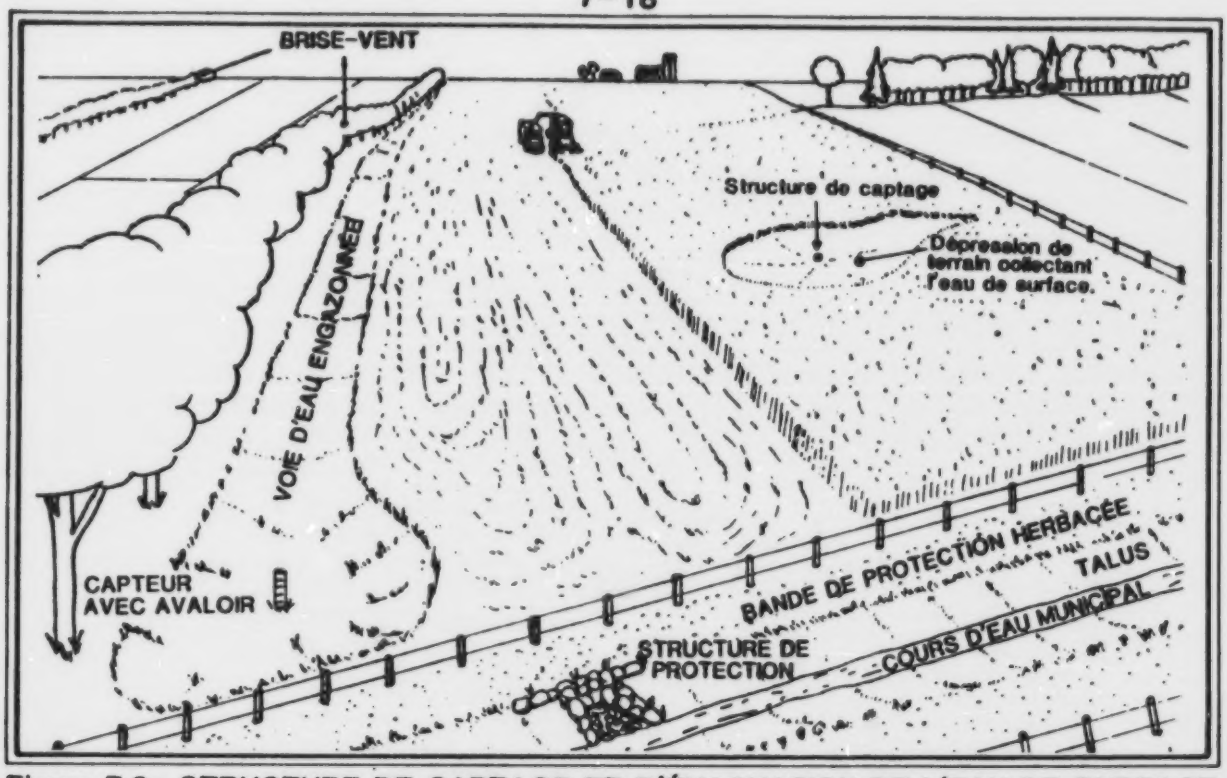


Figure 7.6a STRUCTURE DE CAPTAGE ET D'ÉVACUATION DE L'EAU DE SURFACE VERS UN COURS D'EAU.

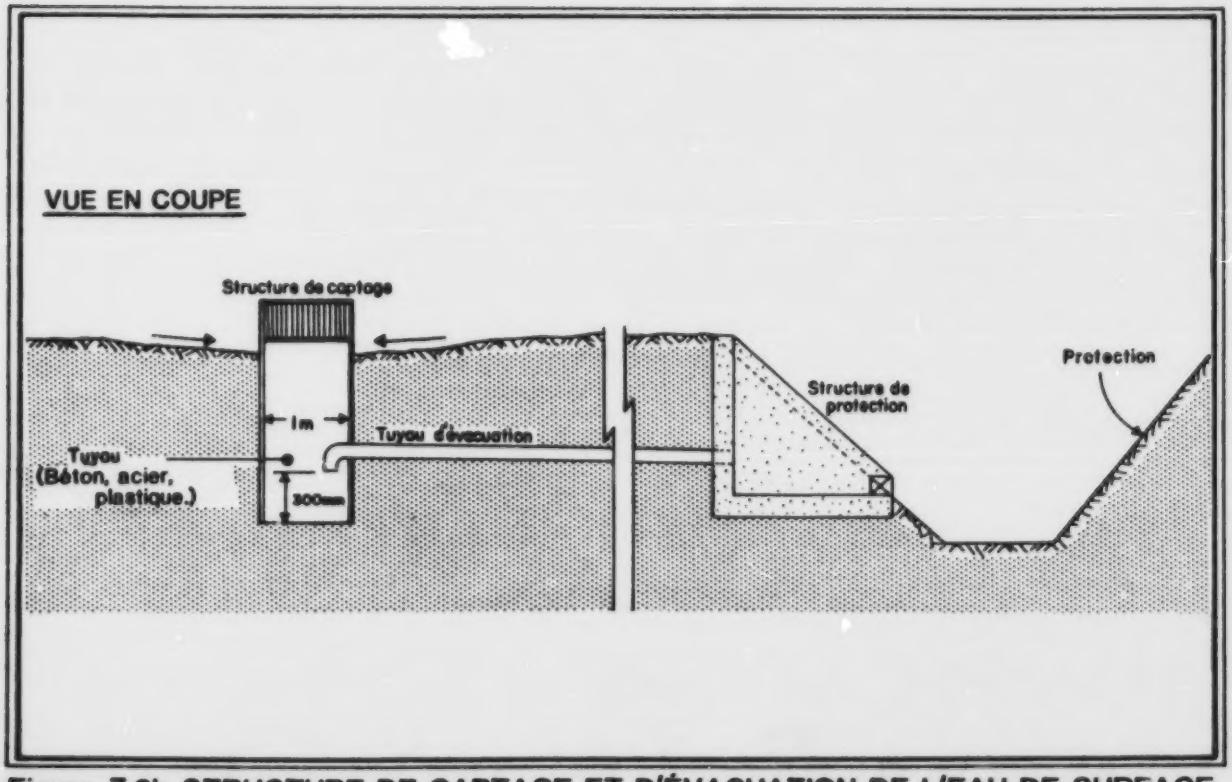


Figure 7.6b STRUCTURE DE CAPTAGE ET D'ÉVACUATION DE L'EAU DE SURFACE VERS UN COURS D'EAU.

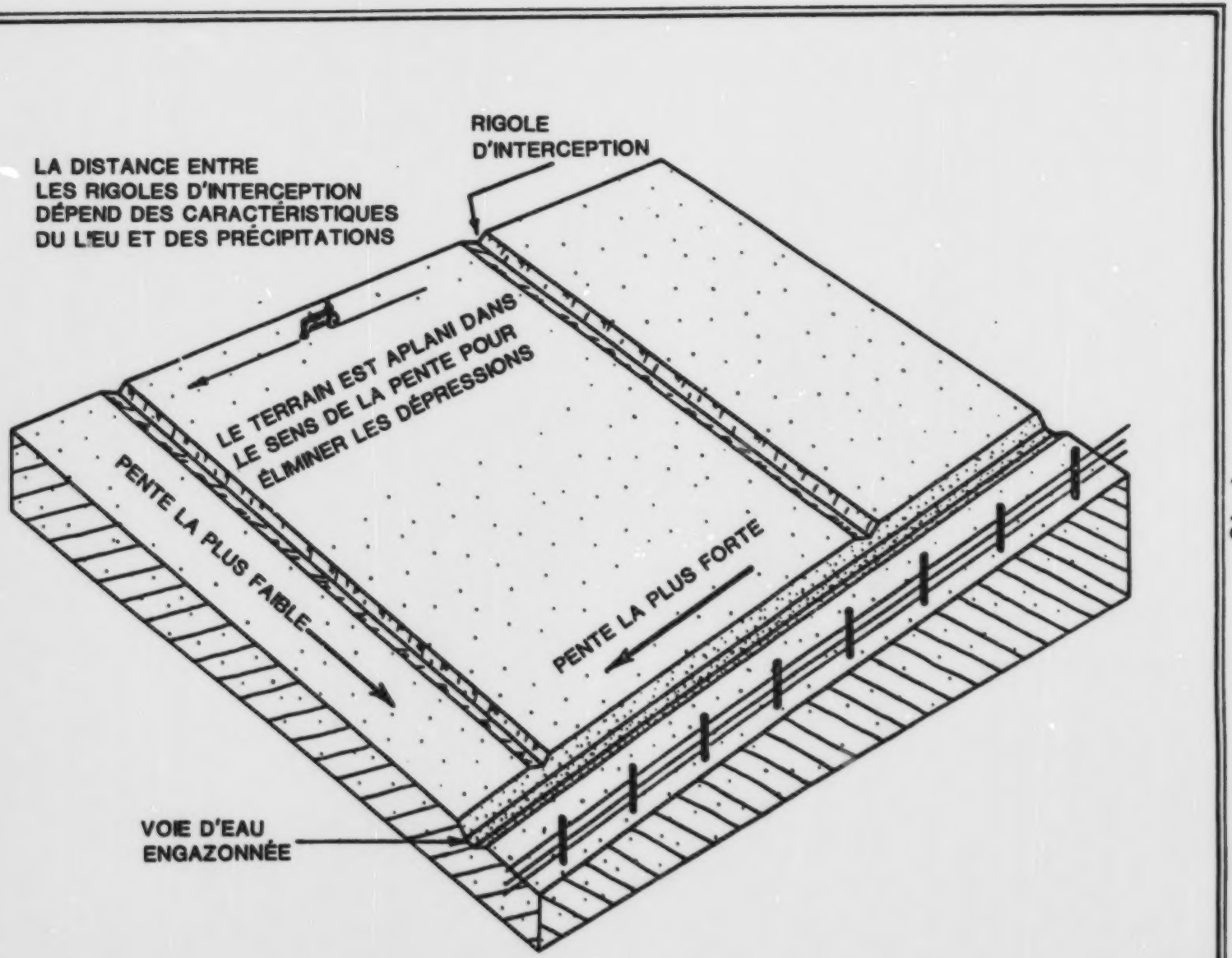
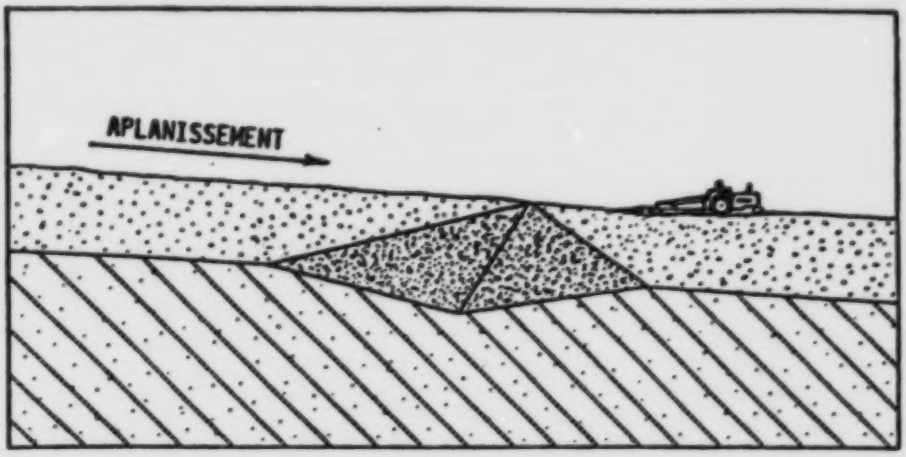


Figure 7.7 APLANISSEMENT DU SOL COMBINÉ AUX RIGOLES D'INTERCEPTION ET VOIE D'EAU ENGAZONNÉE.



Dans les terrains en pente, la rigole triangulaire servira à raccourcir la longueur de la pente.

RIGOLE D'INTERCEPTION TRIANGULAIRE

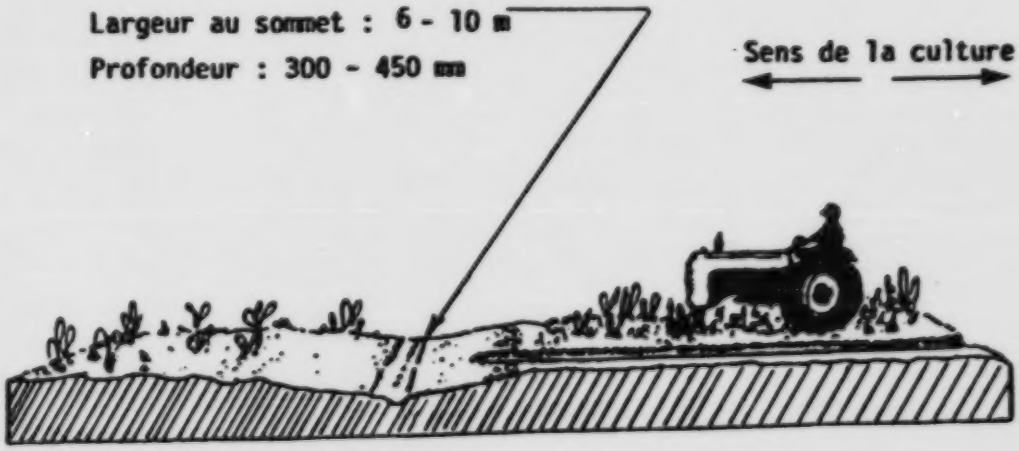


Figure 7.8 RIGOLE D'INTERCEPTION PEU PROFONDE PLACÉE EN TRAVERS DE LA PENTE . LA MACHINERIE AGRICOLE PEUT LA TRAVERSER AISÉMENT.

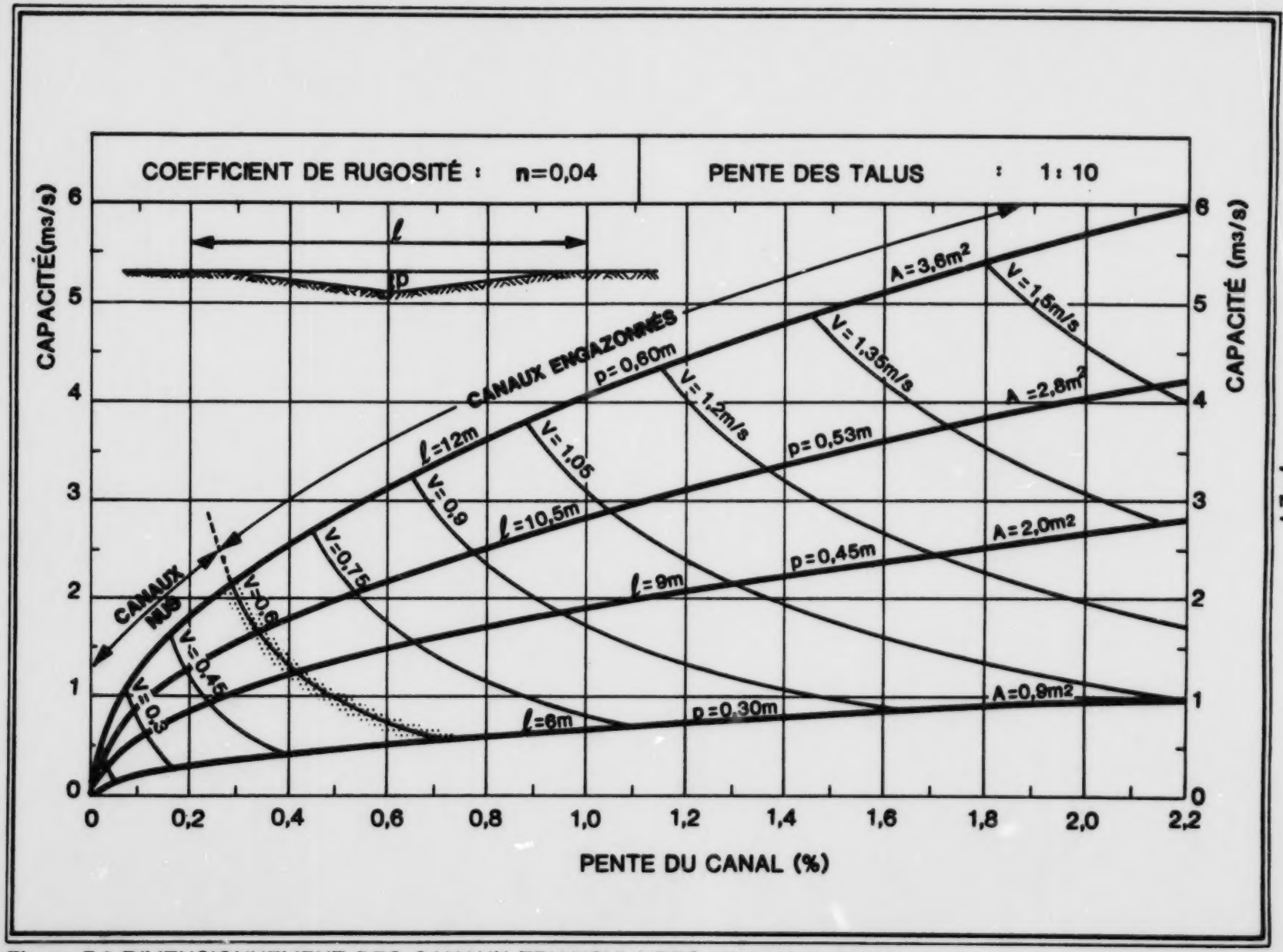


Figure 7.9 DIMENSIONNEMENT DES CANAUX TRIANGULAIRES (Adapté du S.C.S.)

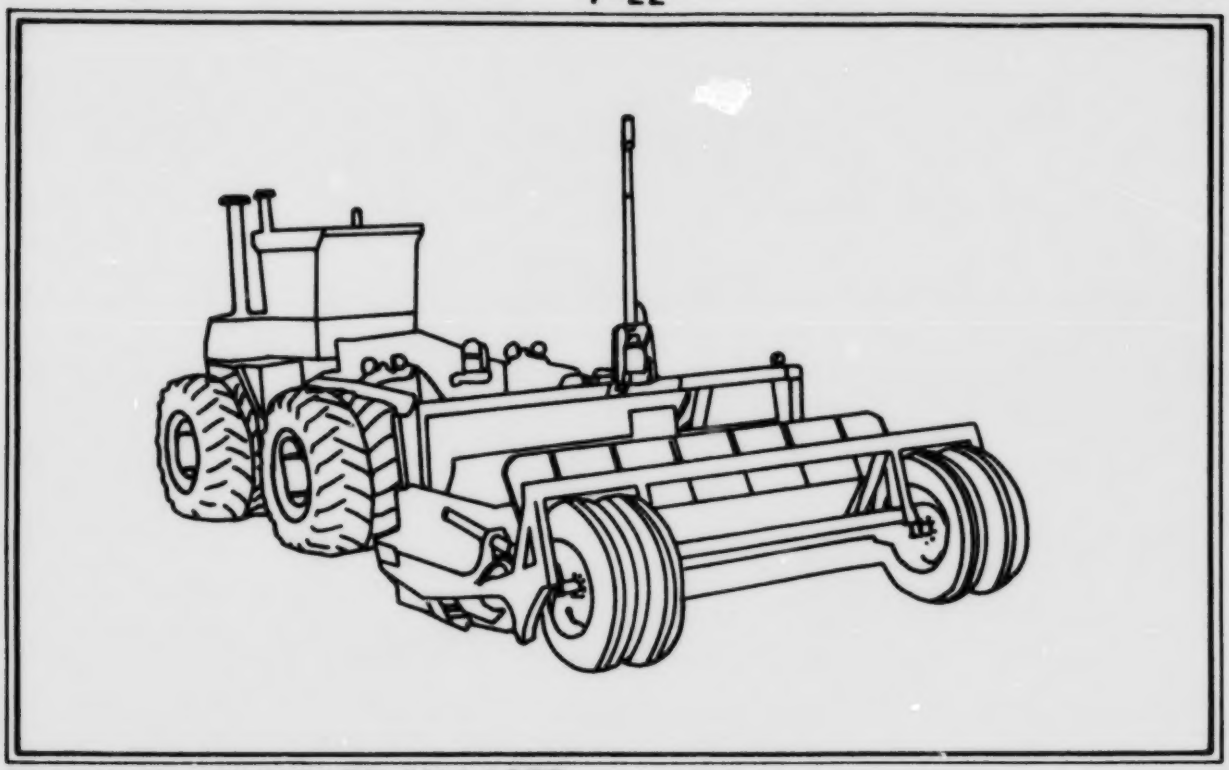


Figure 7.10 NIVELEUSE AU LASER

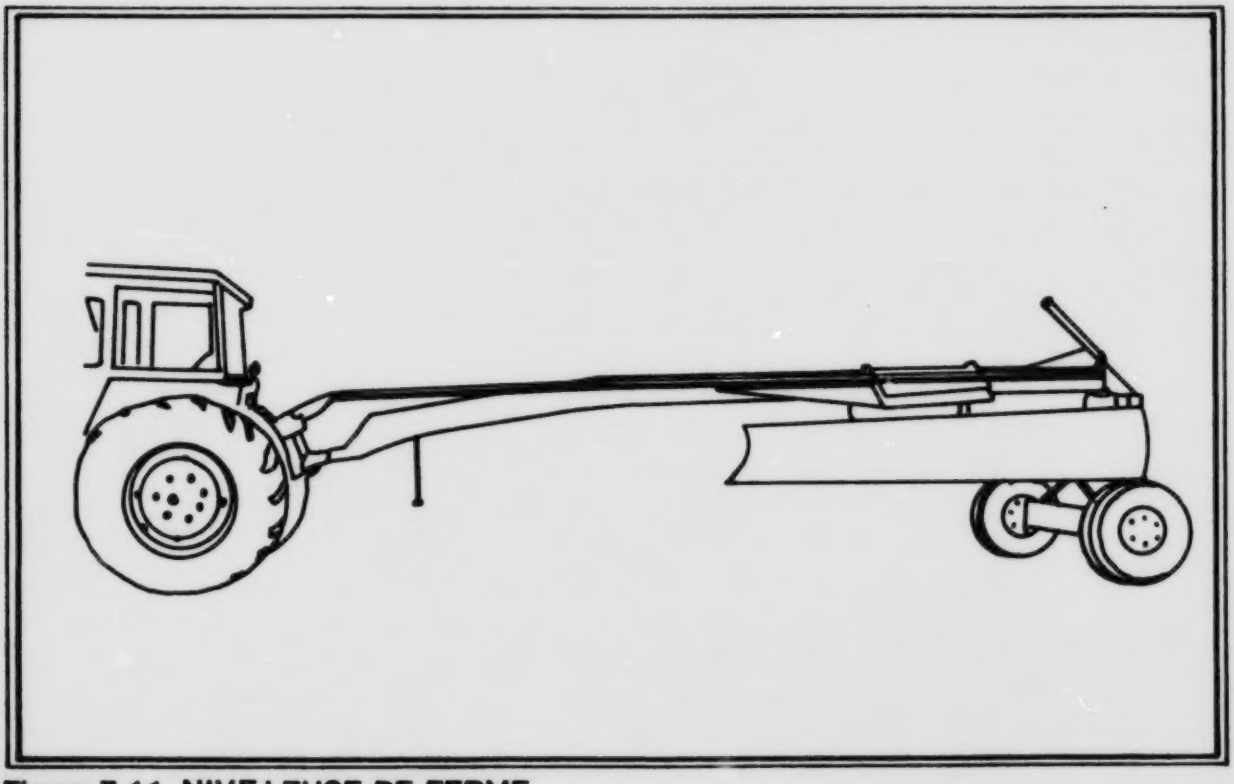


Figure 7.11 NIVELEUSE DE FERME

ANNEXE A-7

Aplanissement sur les pentes longues
Calcul de l'espacement entre les rigoles d'interception

Au Québec, les conditions existant lors de la fonte des neiges favorisent l'érosion. Dans le cas de terrains aplanis sur de grandes surfaces, nous avons remarqué qu'il y a beaucoup plus d'érosion à cette période comparativement à la saison de végétation. A ce moment, le sol est souvent gelé ou saturé et le ruissellement est au maximum. D'après l'observation de plusieurs cas, il convient ainsi de limiter la longueur d'écoulement du ruissellement sur sol nu (cultures annuelles) à 400 m pour les terrains dont la pente est inférieure à 1%. Les sols recouverts de végétation au printemps peuvent tolérer des longueurs d'écoulement supérieures.

Pour les terrains dont la pente est supérieure ou égale à 1%, la longueur permissible de pente entre deux rigoles d'interception peut être déterminée en se servant de la même méthode de calcul que pour les terrasses de diversion, soit l'équation universelle de pertes de sol (U.S.L.E.). Cette équation ayant été développée à partir de données sur terrains à pente élevée, son utilisation n'est donc pas recommandée pour des terrains dont la pente moyenne est inférieure à 1%.
L'équation universelle s'écrit:

$$T = R \quad K \quad LS \quad C \quad P$$

où:

- T : pertes de sol tolérables en tonnes/ha-an, pour le Québec;
- R : indice d'érosivité des pluies, (MJ.mm/ha-h), choisir R d'après la figure A-7.1;
- K : facteur d'érodabilité du sol (t-ha-h/MJ-mm-ha) figure A-7.2;
- LS : facteur de pente, figure A-7.3;
- C : facteur de couvert, tableau A-7.1;
- P : facteur des pratiques culturales, tableau A-7.2.

Pour résoudre l'équation universelle de pertes de sol, les abaques et tableaux rapportés dans la présente annexe peuvent être utilisés. On peut aussi avoir recours à la version informatisée de cette équation (modèle EROSION), adaptée par Bernard (1990) aux conditions du Québec méridional. Cette version informatisée de l'équation s'avère particulièrement utile si l'on veut considérer différentes options de précédents culturaux et/ou façons culturales réduites.

Compte tenu de la très forte érodabilité du sol en conditions printanières en terrain aplani, on peut considérer un facteur de sécurité de deux à trois fois (Lagacé, 1989). Ainsi étant donné qu'une perte de sol de 6 t/ha-an est jugée acceptable pour le Québec, on utilise une limite de tolérance de perte de sol (T) égale à deux ou trois t/ha lors du calcul de la longueur à aménager entre deux rigoles d'interception.

Exemple de calcul

Déterminer l'espacement entre les rigoles d'interception pour un terrain aplani sur la longueur avec une pente de 1,0%. Le sol est un sable loameux d'Aston caractérisé par une structure de sol granulaire fine, un drainage imparfait (perméabilité lente à modérée) et une pauvre teneur en matière organique (2%). La culture envisagée est 2 ans de pommes de terre suivie d'une céréale. On veut continuer à cultiver en suivant la pente du terrain.

Les pertes de sol tolérables sont considérées à 3 t/ha-an.

---

(1) Bernard, Claude. 1990. Contrôle de l'érosion hydrique des sols et de la pollution diffuse. Fiche technique No.4, Guide technique de conservation des ressources. MAPAQ

(2) Lagacé, Robert. 1989. Université Laval. Comm. personnelle.

1) Il faut déterminer le facteur de topographie LS en utilisant:

$$LS = \frac{T}{R \quad K \quad C \quad P}$$

2) Le facteur R pour la région Nicolet = 1250 (figure A-7.1)

3) Facteur d'érodabilité K:

- pour un sable loameux d'Aston:
  - 70 % sable
  - 10 % sable très fin
  - 20 % limon
  - 10 % argile
  - 2 % M.O.
  - dont le drainage est imparfait (perméabilité lente à modérée) et la structure est granulaire fine

Selon la figure A-7.2 on obtient : K = 0,022

4) Le facteur C = 0,42 (tableau A-7.1), soit la moyenne pour la rotation de deux ans de pommes de terre suivi d'une céréale en façons culturales conventionnelles (labours à l'automne).

5) Le facteur de pratiques culturales: P = 1, puisque la culture continuera à se faire selon la pente

6) Calcul de $LS = \frac{T}{R \quad K \quad C \quad P} = \frac{3}{1250 \times 0,022 \times 0,42 \times 1}$

$$\underline{LS = 0,260}$$

En prenant la figure A-7.3 on peut déterminer la longueur de pente permissible pour LS = 0,260 et une pente de terrain de 1,0%.

$$\underline{L = 250 \text{ m}}$$

Dans cet exemple, si la longueur totale est de 1 km, on devrait situer trois rigoles d'interception si on conserve les mêmes pratiques culturales.

En considérant certaines pratiques culturales de conservation, il devient possible cependant de considérer un espacement supérieur entre les rigoles d'interception. Considérons par exemple que la céréale de printemps est grainée (sous-ensemencée avec des herbages), les pertes de sol sont ainsi réduites considérablement le printemps suivant. En interrogeant le logiciel EROSION, ou en considérant un nouvel indice "C" égale à 0,33, les prédictions de pertes de sol sont ramenées à 2,2 t/ha. Aussi, en redéterminant "LS" en considérant le nouvel indice "C" pour la rotation de 0,31, nous obtenons:

$$LS = \frac{T}{R\ K\ C\ P}$$

$$LS = \frac{3}{1250 \times 0{,}022 \times 0{,}33 \times 1}$$

$$LS = 0{,}331$$

Ce qui permet l'espacement maximal permissible entre les rigoles d'interception, soit 400 m.

Tableau A-7.1 Valeurs recommandées (1) du facteur C pour différentes cultures (dans le sens de la pente)

ROTATION		FACON CULTURALE	FACTEUR C
CULTURE CONSIDÉRÉE	PRÉCÉDENT CULTURAL		
Pomme de terre	Pomme de terre	Labour automne	0,56
Pomme de terre	Céréale	Labour automne	0,48
Pomme de terre	Herbages	Labour automne	0,21
Maïs	Maïs	Labour automne	0,45
Maïs	Maïs	Semis direct 70% couverture	0,07
Céréale	Maïs	Labour automne	0,13
Céréale	Maïs	Chisel-automne 20% couverture	0,09
Céréale	Maïs-ensilage (ou pomme de terre)	Labour automne	0,23

Tableau A-7.2 Valeurs recommandées (1) pour le facteur P

TECHNIQUE CULTURALE	FACTEUR P
Culture dans le sens de la pente	1,00
Culture en travers de la pente	0,75
Culture en contour	0,50
Culture en bandes alternées en travers de la pente	0,37
Culture en bandes alternées en contour	0,21

(1) Extraits de Bernard (1990), Contrôle de l'érosion hydrique et de la pollution diffuse; Fiche technique No. 4, Guide technique de conservation des ressources, MAPAQ.

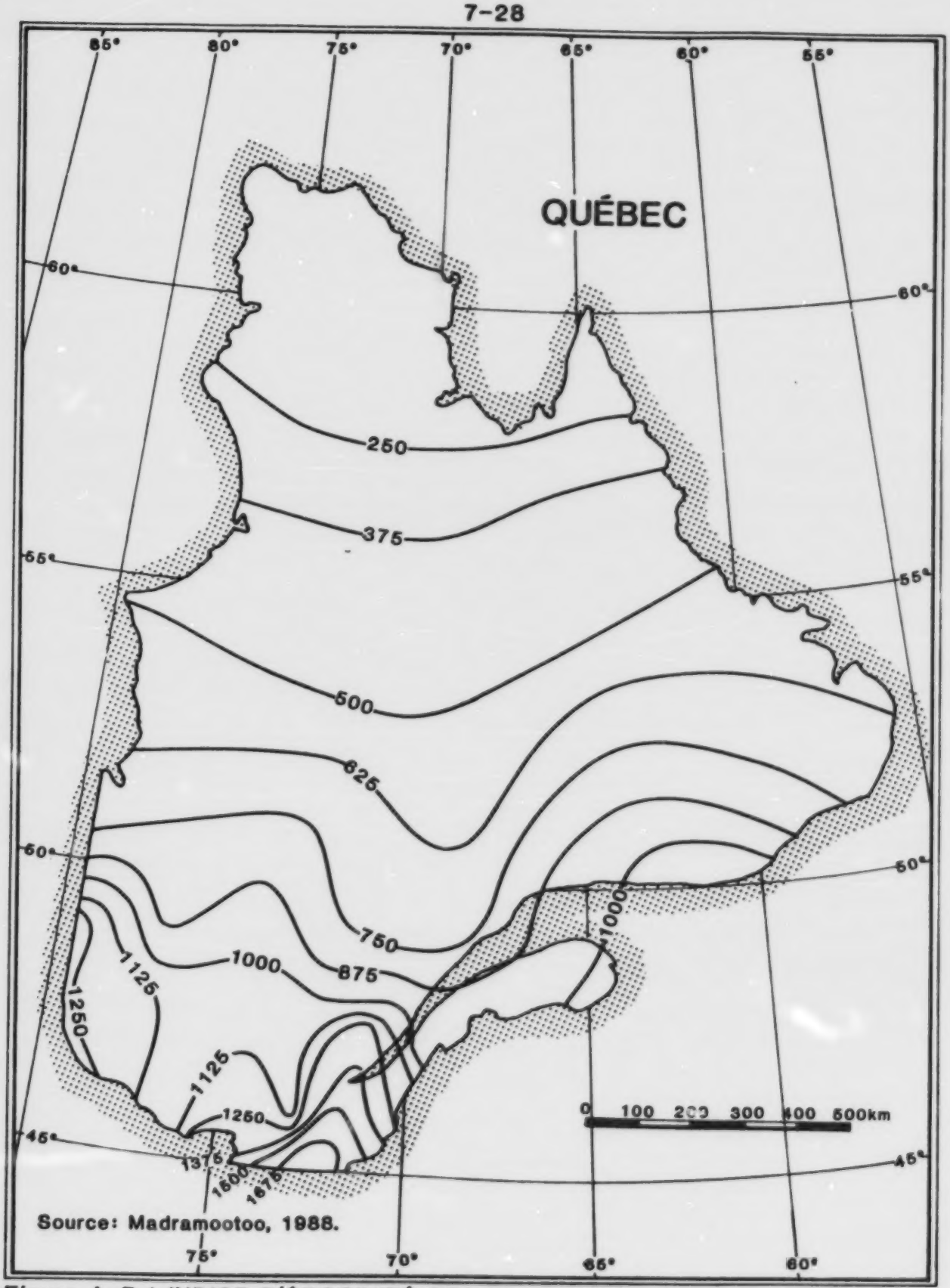


Figure A-7.1 INDICE D'ÉROSIVITÉ DES PLUIES (R).

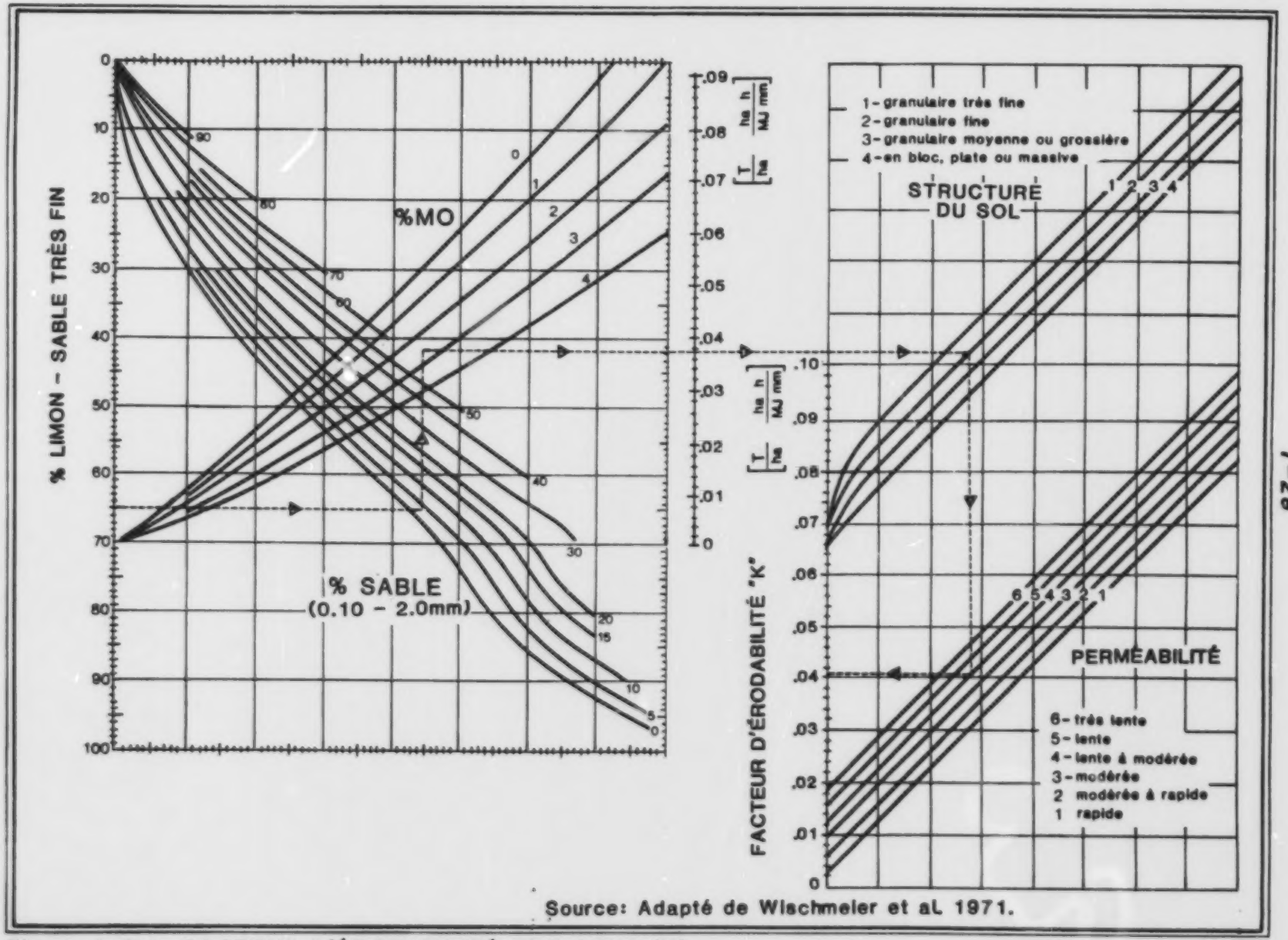


Figure A-7.2 FACTEUR D'ÉRODABILITÉ DES SOLS (K).

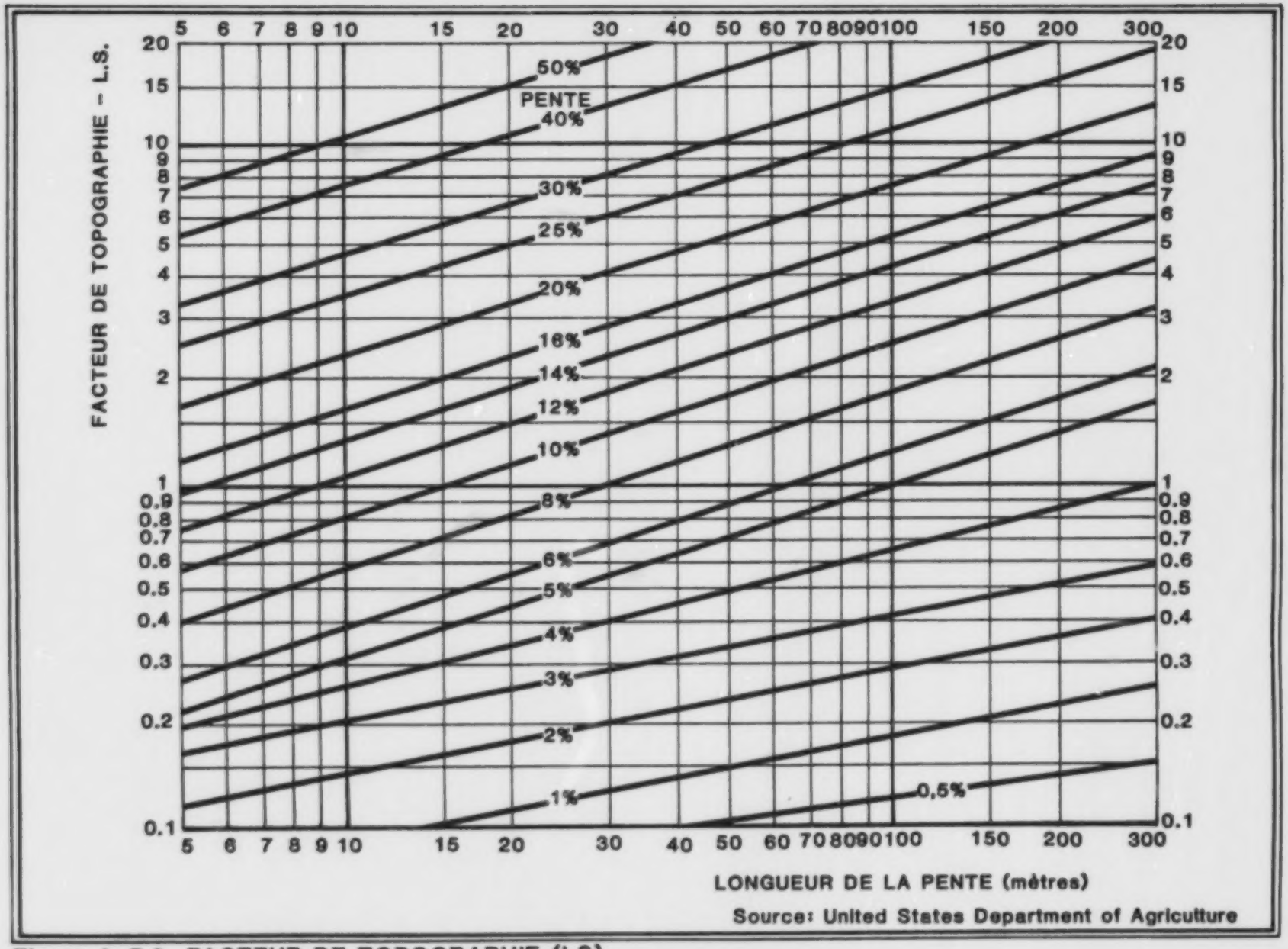


Figure A-7.3 FACTEUR DE TOPOGRAPHIE (LS).

CHAPITRE 8

ÉTABLISSEMENT D'UNE VOIE D'EAU ENGAZONNÉE

ETABLISSEMENT D'UNE VOIE D'EAU ENGAZONNÉE

Auteurs: Daniel Yves Martin, ingénieur
Raymond Bernier, ingénieur
Yvon Brochu, ingénieur
Richard Laroche, ingénieur et agronome

TABLE DES MATIERES

			PAGE
8.1	Domaine d'application		8-3
8.2	Définitions		8-4
	8.2.1	Voie d'eau engazonnée	8-4
	8.2.2	Retardance	8-4
8.3	Forme de la voie d'eau engazonnée		8-4
8.4	Dimensionnement de la voie d'eau engazonnée		8-5
8.5	Tronçons de voie d'eau à empierrer		8-7
8.6	Localisation		8-8
8.7	Construction		8-9
	8.7.1	Période des travaux	8-9
	8.7.2	Drainage souterrain	8-9
	8.7.3	Exutoire	8-10
	8.7.4	Projection du tracé	8-10
	8.7.5	Outillage	8-11
	8.7.6	Conservation du sol arable	8-11
8.8	Ensemensement		8-11
8.9	Entretien		8-12
8.10	Précaution		8-13
Tableaux	8.1	Vitesses maximales permises	8-14
	8.2	Ensemensement pour le contrôle de l'érosion	8-14
	8.3	Guide pour le choix du matériau comme paillis	8-15
	8.4	Guide pour l'ancrage d'un paillis	8-16
Figures	8.1	Voie d'eau parabolique	8-17
	8.2	Voie d'eau avec centre en pierres	8-17
	8.3	Sortie d'eau en béton	8-18
	8.4	Sortie d'eau en gabions	8-18
	8.5	Coefficient de Manning en fonction de la vitesse, du rayon hydraulique et de la retardance	8-19
	8.6	Dimensionnement de la pierre	8-20
Annexes	A-8	Tableaux de dimensionnement des voies d'eau engazonnées (à section parabolique) pour les conditions de végétation D et C	8-21
	B-8	Exemples	8-36

8.0 ÉTABLISSEMENT D'UNE VOIE D'EAU ENGAZONNÉE

8.1 DOMAINE D'APPLICATION

Une voie d'eau engazonnée peut remplacer un cours d'eau à la tête d'un bassin versant (50 ha et moins). Elle peut remplir une vocation communautaire en servant de structures d'évacuation des eaux de surface pour plusieurs propriétés adjacentes. Elle peut être combinée avec un bassin de captage et un avaloir muni d'une canalisation souterraine (figure 9.1).

Les rigoles d'interception engazonnées sont considérées comme des voies d'eau engazonnées et elles sont construites selon les mêmes critères de conception.

Un réseau d'égouttement superficiel comprend une voie d'eau principale de grandes dimensions respectant le tracé naturel d'écoulement à laquelle sont associées des voies d'eau latérales d'interception dont l'espacement est déterminé en fonction d'un taux de perte de sol tolérable.

Les voies d'eau engazonnées sont particulièrement utiles pour:

- assurer une sortie adéquate pour les eaux de systèmes de drainage de surface;
- assurer une sortie adéquate pour les eaux provenant des terrasses;
- assurer une sortie sécuritaire des eaux collectées par les fossés se déversant dans les dépressions naturelles;
- réhabiliter les voies d'eau naturelles où il y a de grands volumes d'eau de ruissellement qui provoquent le ravinement;
- assurer une sortie adéquate des eaux d'un évacuateur de crue d'un bassin de captage.

8.2 DÉFINITIONS

8.2.1 VOIE D'EAU ENGAZONNÉE

Canal peu profond recouvert d'une végétation permanente, conçu pour évacuer sécuritairement un volume d'eau de ruissellement et prévenir le ravinement.

8.2.2 RETARDANCE

Niveau de restriction à l'écoulement dû à la rugosité du lit, qui dépend de la nature et de l'état du couvert végétal.

8.3 FORME DE LA VOIE D'EAU ENGAZONNÉE

8.3.1 La voie d'eau peut être de forme parabolique (figure 8.1) ou trapézoïdale. Cette dernière tendra à prendre la forme parabolique suite aux travaux de préparation de sol et de semis.

8.3.2 La voie d'eau doit tendre à être de forme parabolique car c'est la forme la plus stable et celle présentant les meilleures caractéristiques hydrauliques.

8.3.3 La pente des talus doit être d'au moins 1:4, pente qui permet l'entretien d'une voie d'eau non traversable par la machinerie agricole. Lorsqu'il est prévu de traverser la voie d'eau avec de l'outillage agricole, la pente des talus doit être d'au moins 1:8. Elle peut être moins forte selon le type d'outillage de l'agriculteur.

8.4 DIMENSIONNEMENT DE LA VOIE D'EAU ENGAZONNÉE

8.4.1 Le dimensionnement dépendra du débit de pointe correspondant à la période de récurrence choisie. A cet effet, on se référera au chapitre 1 " Débit de pointe et volume d'eau ruisselé pour les très petits bassins versants ". Pour la conservation des sols, la voie d'eau doit être dimensionnée pour un évènement dont la récurrence est de 10 ans. Dans les autres situations on doit se référer au tableau 1.1 du présent cahier des normes.

8.4.2 L'évaluation de la capacité d'évacuation des voies d'eau engazonnées a été établie par le "Soil Conservation Service" américain en élaborant une série d'expériences mettant en relation le couvert végétal dans le canal, le coefficient de Manning ainsi que le produit de la vitesse par le rayon hydraulique (VR). Ces expériences ont permis l'élaboration d'une série de courbes que l'on peut retrouver à la figure 8.5.

Les cinq courbes représentent des conditions de végétation différente où A équivaut à une situation de restriction élevée à l'écoulement (végétation haute et épaisse) tandis que E équivaut à une situation de faible restriction (végétation basse et éparse). Il est à noter que les conditions C et D prévalent pour les critères de dimensionnement au Québec.

8.4.3 Le canal doit être dimensionné pour évacuer les débits de pointe à la vitesse permissible selon le type de sol, la pente du terrain et l'établissement prévisible du couvert végétal durant la saison (voir

tableau 8.1). Cette condition de végétation correspond à la "retardance" D de la figure 8.5. Ceci correspond à un gazon fraîchement coupé.

8.4.4 Pour assurer une capacité d'évacuation suffisante et pour éviter le débordement au moment où la végétation a atteint sa hauteur maximale correspondant aux conditions de retardance C (figure 8.5), il faut vérifier la capacité d'évacuation pour cette nouvelle condition. Ceci correspond à un gazon d'une hauteur de 150 - 200 mm.

8.4.5 Il est recommandé d'augmenter la section d'écoulement d'un pourcentage tenant lieu de revanche au cas où les conditions de retardance C seraient dépassées et aussi pour tenir compte de l'accumulation de neige.

8.4.6 La profondeur de la voie d'eau doit être d'au moins 300 mm.

8.4.7 Pour le dimensionnement des voies d'eau paraboliques, on se référera aux tableaux de dimensionnement tiré du " Soil Conservation Service " (Annexe A-8). Ces tableaux donnent les dimensions de la voie d'eau en fonction des classes de végétation D et C s'appliquant à nos conditions de vitesses et de débits à évacuer pour des pentes de 0,25% à 10%.

Deux exemples de calcul sont fournis à l'annexe B-8.

RÉSUMÉ DES ÉTAPES DE CONCEPTION (de 8.4.1 à 8.4.7 inclusivement)

Vérifications à faire:

- vitesse maximale permise en fonction de la "retardance" D;
- capacité d'évacuation de la voie d'eau en fonction de la "retardance" C;
- revanche à ajouter en fonction de la sécurité désirée (0,1 m minimum);
- profondeur minimale de 300 mm en toutes circonstances.

8.5 TRONÇONS DE VOIE D'EAU A EMPIERRER

8.5.1 Lorsque la pente longitudinale de la voie d'eau est supérieure à 10% et/ou que la vitesse d'écoulement dépasse 2 m/s, le fond de la voie d'eau doit être recouvert d'un lit de pierres dont l'épaisseur minimale sera de 450 mm ou de 1,5 fois le D_{75}. De plus on pourra diminuer localement la pente au moyen d'une ou de plusieurs chutes empierrées* pour dissiper l'énergie.

Sous les conditions énumérées précédemment et dans les cas où la voie d'eau demeure constamment humide dû à un écoulement continu, on recommande de recouvrir le centre de la voie d'eau avec de la pierre (figure 8.2) et/ou d'installer une canalisation souterraine avec bassin de captage et avaloir (voir chapitre 9).

* Source: Soil erosion manual, Ontario Ministry of Agriculture and Food (OMAF)

8.5.2 La dimension de la pierre à utiliser doit être fonction de la pente de la voie d'eau et de la profondeur d'écoulement (voir figure 8.6).

8.5.3 On doit installer un géotextile non tissé (genre feutre) sous l'empierrement afin d'éviter l'entraînement des particules fines.

8.6 LOCALISATION

8.6.1 La localisation idéale d'une voie d'eau principale devrait tendre à respecter le tracé naturel existant. Cependant, d'autres considérations d'ordre technique ou légal peuvent déterminer le choix du tracé.

8.6.2 Les voies d'eau d'interception seront localisées à partir du calcul de l'espacement entre celles-ci, nécessaire à l'atteinte d'une réduction optimale des pertes de sol (paramètre T de l'équation universelle des pertes de sol) *.

8.6.3 On pourra localiser la voie d'eau le long d'une séparation de champs. Dans le cas d'une séparation de propriétés, les propriétaires devraient conclure une entente par acte notarié spécifiant les modalités la régissant (localisation, spécifications, entretien, etc)

* Référence : chapitre 7 - Equation universelle des pertes de sol.

8.6.4 L'utilisation d'un fossé de route comme exutoire doit être soumis à l'approbation de l'autorité concernée.

8.7 CONSTRUCTION

8.7.1 PÉRIODE DES TRAVAUX

La construction doit commencer lorsqu'il y a assurance de compléter les travaux dans un délai aussi court que possible et doit se faire à la lumière du jour afin d'assurer une qualité de travail adéquate.

Le printemps et la fin de l'été sont deux périodes propices à la construction puisqu'elles permettent un établissement rapide de la végétation.

8.7.2 DRAINAGE SOUTERRAIN

Un tuyau de drainage souterrain doit être installé de façon à drainer le surplus d'eau, faciliter le passage de la machinerie et favoriser le développement de la végétation.

Le drain doit être placé à une distance de 1/4 de la largeur totale de la voie d'eau par rapport au centre, et du côté d'où provient la majeure partie de l'eau de ruissellement (figure 8.1). Dans le cas de travaux majeurs où la largeur au sommet est supérieure à 15 mètres, il peut être nécessaire de placer une ligne de drain de chaque côté du centre de la voie d'eau. Lorsque disponibles, les conductivités hydrauliques du sol peuvent permettre d'évaluer l'écartement nécessaire à un drainage souterrain

optimum. La profondeur minimale du drain doit être de 700 mm.

Dans certaines circonstances pour éviter d'aménager une voie d'eau trop large, un bassin de captage avec un avaloir et une conduite souterraine (chapitre 9) peuvent être installés pour évacuer une partie des eaux de ruissellement. Cette alternative doit être évaluée en tenant compte du coût d'une voie d'eau de dimensions supérieures et des inconvénients qu'elle peut occasionner.

8.7.3 EXUTOIRE

Les travaux doivent débuter par l'aménagement de l'exutoire de la voie d'eau. L'exutoire est une structure qui permet de faire transiter sans dommage les eaux de ruissellement vers le cours d'eau. Il peut être aménagé au moyen de pierres angulaires, de gabions ou de structures de béton (voir figures 8.3 et 8.4). Un bassin de captage avec un avaloir peut également servir d'exutoire.

8.7.4 PROJECTION DU TRACÉ

Afin de respecter le tracé projeté, on marquera le centre et les deux côtés de la voie d'eau de façon à maintenir la section requise, la profondeur et la pente du canal, et l'angle des talus.

8.7.5 **OUTILLAGE**

Le profilage peut se faire au moyen d'un bouteur, d'une niveleuse, d'une pelle hydraulique et/ou d'une décapeuse. On doit utiliser la combinaison d'outillage répondant le mieux à l'ampleur des travaux.

8.7.6 **CONSERVATION DU SOL ARABLE**

Lors de l'excavation, on doit prendre soin de mettre de côté le sol arable. Une fois la construction terminée, on doit replacer celui-ci dans le fond de la voie d'eau et sur les talus pour assurer un meilleur établissement de la végétation.

8.8 **ENSEMENCEMENT**

8.8.1 Selon les résultats des analyses du sol, le lit de semence doit recevoir les amendements et fertilisants nécessaires pour la croissance des plantes.

8.8.2 Le semis peut être fait au moyen d'un semoir portatif de type cyclone ou pneumatique, d'un semoir de ferme conventionnel ou de type Brillon, ou par hydrosemence.

8.8.3 L'ensemencement doit se faire immédiatement après la fin de la construction. Les périodes d'ensemencement les plus propices sont du 1er mai au 15 juin et du 10 août au 15 septembre sauf lorsqu'on utilise l'hydrosemence. Cette dernière technique permet l'ensemencement jusqu'en fin octobre en prévision d'une germination le printemps suivant.

8.8.4 Les espèces ensemencées doivent assurer un couvert-permanent dans la voie d'eau. Le tableau 8.2 suggère des mélanges adaptés pour les conditions du Québec. Les taux d'ensemencement suggérés varient de 60 à 100 kg/ha.

8.8.5 Si l'on s'attend à ce que la voie d'eau soit habituellement humide, on doit augmenter la proportion d'agrostide aux dépens de la fétuque, l'agrostide étant mieux adaptée aux conditions humides.

8.8.6 Pour protéger la voie d'eau et favoriser l'établissement de la végétation, il est possible d'appliquer un paillis. Pour empêcher l'entraînement du paillis et de la semence, il est recommandé de fixer le paillis selon les méthodes données aux tableaux 8.3 et 8.4. Une autre alternative serait d'aménager un canal temporaire de dérivation (si nécessaire) de part et d'autre de la voie d'eau.

8.8.7 Il est recommandé d'établir et d'entretenir une bande riveraine de 0,5 m à 1 m de part et d'autre de la voie (figure 8.1).

8.9 ENTRETIEN

8.9.1 Les endroits érodés ou dégarnis doivent être aussitôt réparés.

8.9.2 On doit faire une application de fertilisant ou de fumier selon les besoins.

8.9.3 Un fauchage doit être fait au moins deux fois par

année en vue de contrôler la prolifération de végétation non désirable, et de conserver l'efficacité hydraulique de la voie d'eau.

8.10 **PRÉCAUTIONS**

8.10.1 En aucun temps, on ne doit laisser paître ou circuler les animaux dans une voie d'eau engazonnée.

8.10.2 Les voies d'eau ne doivent pas servir de voie de circulation pour la machinerie ou de chemin de ferme.

8.10.3 Les instruments aratoires doivent être relevés pour traverser une voie d'eau de façon à ne pas l'endommager.

8.10.4 On doit éviter que les herbicides nocifs pour la végétation herbacée n'atteignent la voie d'eau engazonnée sinon un nouveau semis deviendra nécessaire. On doit s'assurer que le pulvérisateur n'opère plus et que les buses ne dégouttent plus avant de traverser la voie d'eau; on ne doit pas faire d'arrêt dans celle-ci.

8.10.5 La présence d'un brise-vent de forte densité et peu poreux (habituellement composé de résineux ou d'arbustes denses) le long d'une voie d'eau est à éviter. Cette situation favorise l'accumulation de neige dans la voie d'eau et peut obstruer la section d'écoulement et faire dévier l'eau (contournement). Par contre un brise-vent de densité lâche (porosité supérieure à 70 % en hiver) peut être toléré à proximité d'une voie d'eau.

-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

TABLEAU 8.1 Vitesses maximales permises (pente entre 0 et 10%)

CONDITIONS DE VÉGÉTATION	SOL RÉSISTANT A L'ÉROSION (m/s)	SOL MODÉRÉMENT OU FACILEMENT ÉRODABLE (m/s)
1. Couvert épars de végétation (à cause de l'ombre ou du sol)	0,90	0,60
2. Végétation moyennement établie	1,20 - 1,50	0,90 - 1,0
3. Végétation très bien établie	1,80 - 2,0	1,20 - 1,50

TABLEAU 8.2 Ensemencement pour le contrôle de l'érosion

MÉLANGE RECOMMANDÉ	
PRINTEMPS	AUTOMNE
Fétuque rouge 45%	Fétuque rouge 45%
Agrostide blanche 40%	Agrostide blanche 40%
Ray-grass 15%	Seigle ou blé d'automne 15%
Taux de semis: 60-100 kg/ha	Taux de semis: 60-100 kg/ha

Remarques sur le mélange: Germination et établissement rapide, donne un couvert résistant, tolère l'humidité, doit être coupé 2 fois par année.

Fertilisation: Selon les analyses de sol

Source : SMVSA - MAPAQ

TABLEAU 8.3 Guide pour le choix du matériau comme paillis

MATÉRIAUX	QUALITÉ OU STANDARD	TAUX D'APPLICATION	REMARQUES
Compost ou fumier	Exempt de grosses particules	20-25 t/ha	Utiliser un fumier avec beaucoup de paille. Résiste bien au vent et retient bien l'humidité. Peut créer un problème de mauvaises herbes.
Tiges de maïs coupées ou déchiquetées	Sèches en longueur de 20-30 cm	10-15 t/ha	Efficace pour le contrôle de l'érosion, se décompose lentement. Résiste au vent
Foin et paille	Sec et exempt de mauvaises herbes ou matériaux grossiers	4-6 t/ha	Utiliser la paille si le matériau doit rester plus de 3 mois. Sujets à être emportés par l'eau ou le vent. Doit être fixé au sol*.
Planures de bois	Vert ou sec	20-25 t/ha	Résiste bien au vent, peut être utilisé dans les endroits critiques à condition d'être fixé au sol*. Se décompose lentement.
Fibre de cellulose de bois	Séché à l'air 30 % de fibres de 3,7 mm ou plus	1-1,5 t/ha	Doubler la dose si appliquée dans les zones critiques. Appliquer avec un "hydro-mulcher".

Source: Section 5,0 Guide for special purpose seeding

* Référence: Tableau 8.4

TABLEAU 8.4 **Guide pour l'ancrage d'un paillis**

MÉTHODE D'ANCRAGE	TYPE DE MATÉRIAU	REMARQUES
A) MANUELLE		
1) Chevilles et corde	Foin, paille, tige de maïs	Après l'application du paillis, diviser le terrain en blocs de 1 m^2. Placer de 4 à 6 chevilles dans le sol. Fixer le paillis à la surface du sol en attachant des cordages entre les chevilles en quinconce.
2) Filet paillis	Fumier, paille, foin, compost, planure de bois	Fixer au sol une membrane légère de jute, de fibre de bois ou de plastique selon les recommandations du manufacturier.
3) Fente	Foin, paille, tige de maïs	Couper et enfoncer le paillis (au moyen d'une pelle carrée) en rangées espacées de 500 mm.
B) MÉCANIQUE		
1) Fixation au moyen de disques	Foin, paille, fumier, compost, tige de maïs	Appliquer le paillis et tirer un disque droit en travers de la pente. Le matériel doit être enfoncé de 50 à 100 mm dans le sol.
2) Hydrosemence*	Bénovert ou équivalent	Taux d'application : 1 t/ha minimum L'hydrosemence s'applique principalement aux ouvrages de grandes envergures ou lorsque l'ensemencement doit s'effectuer à la fin de la saison (ex.octobre)

Source: Section 5,0 Guide for special purpose seeding
* SMVSA

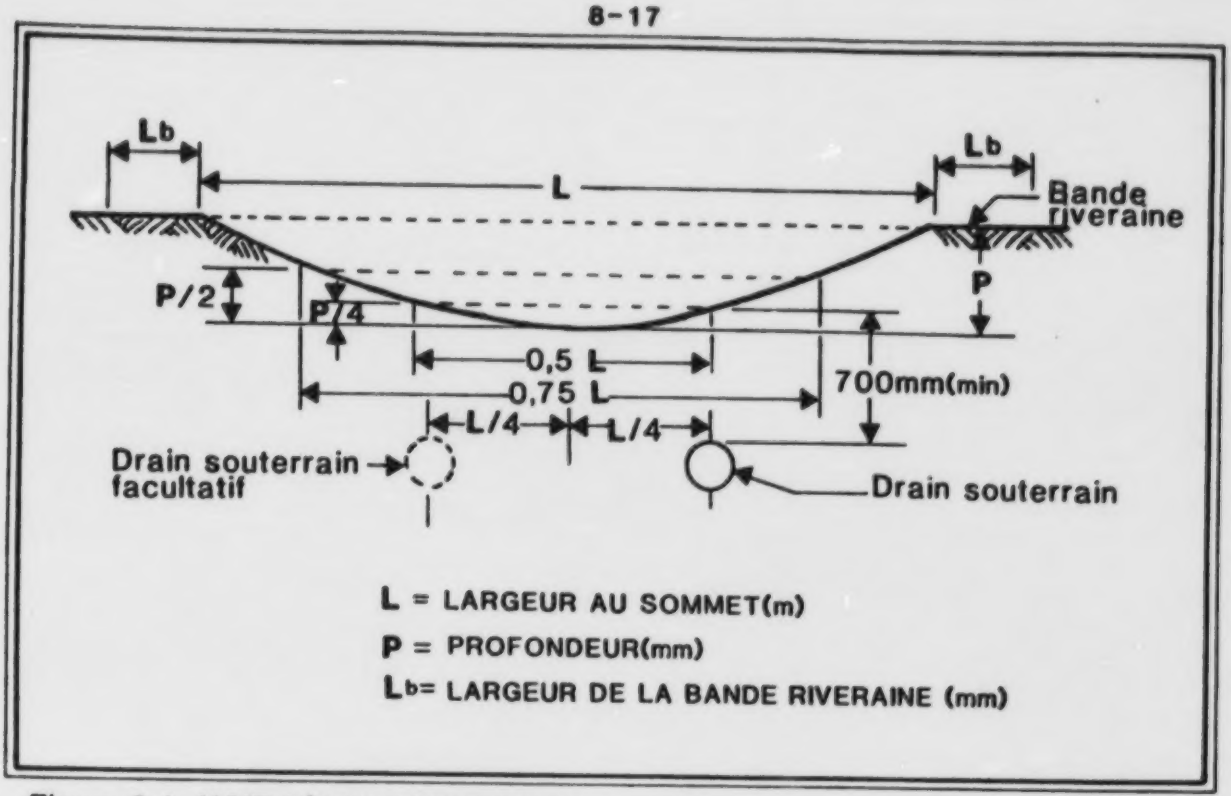


Figure 8.1 VOIE D'EAU PARABOLIQUE

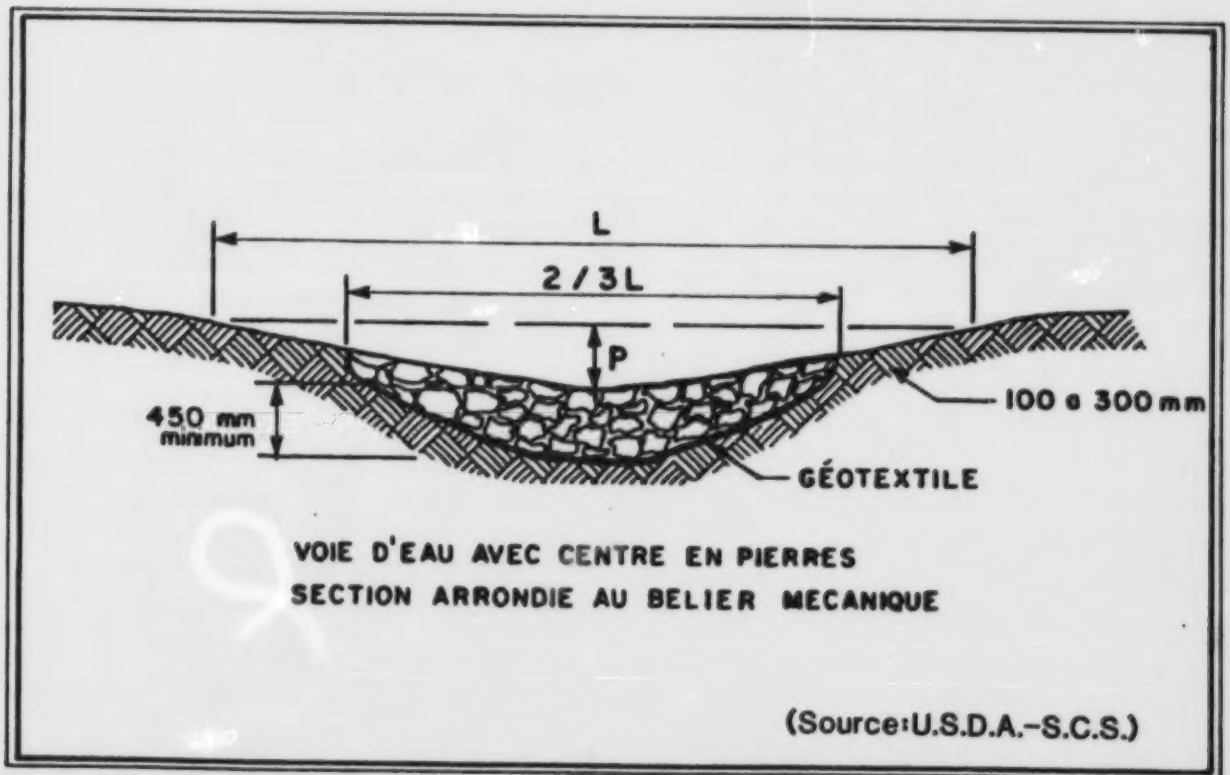


Figure 8.2 VOIE D'EAU AVEC CENTRE EN PIERRES

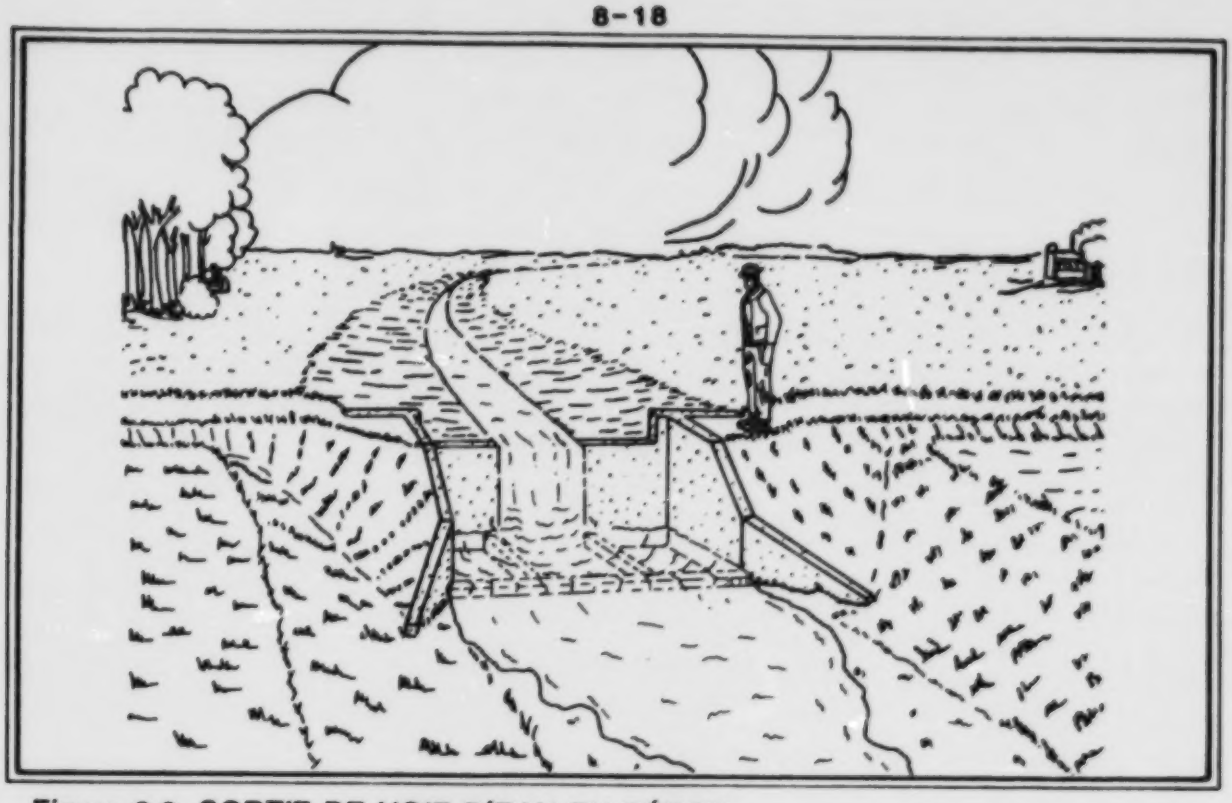


Figure 8.3 SORTIE DE VOIE D'EAU EN BÉTON

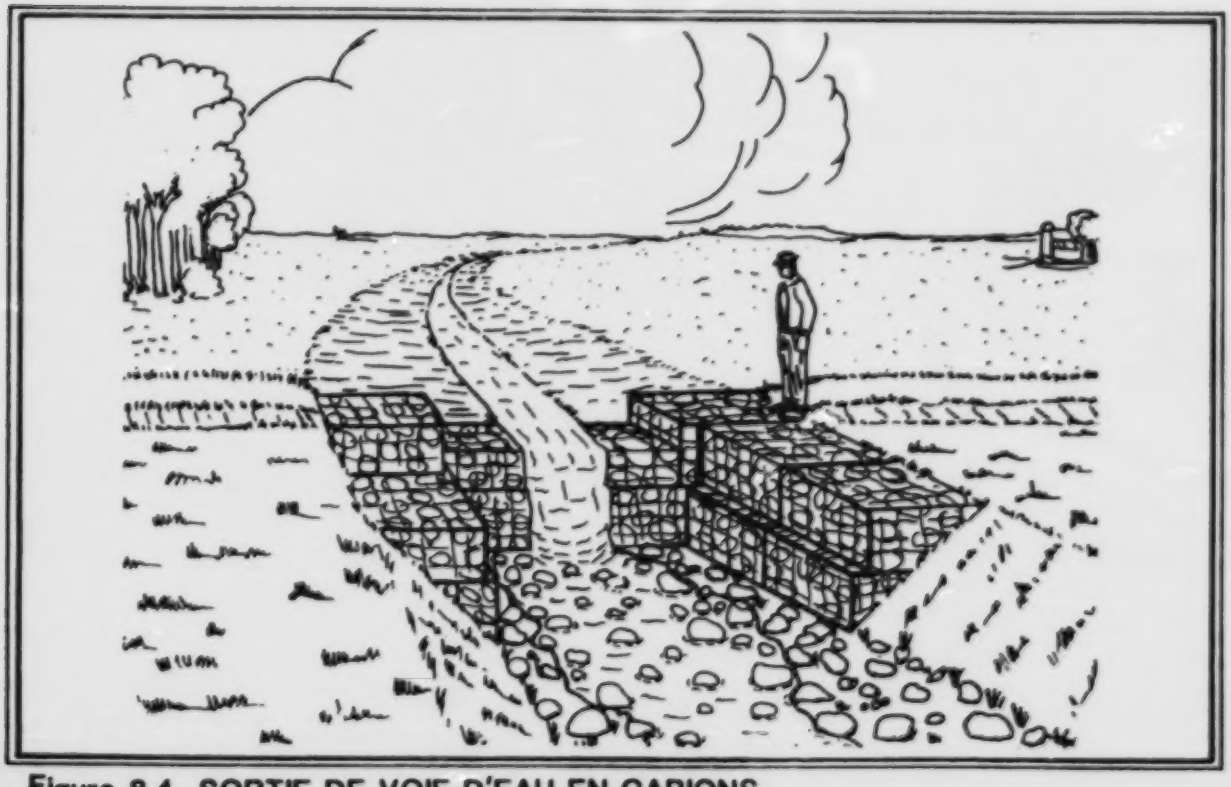


Figure 8.4 SORTIE DE VOIE D'EAU EN GABIONS

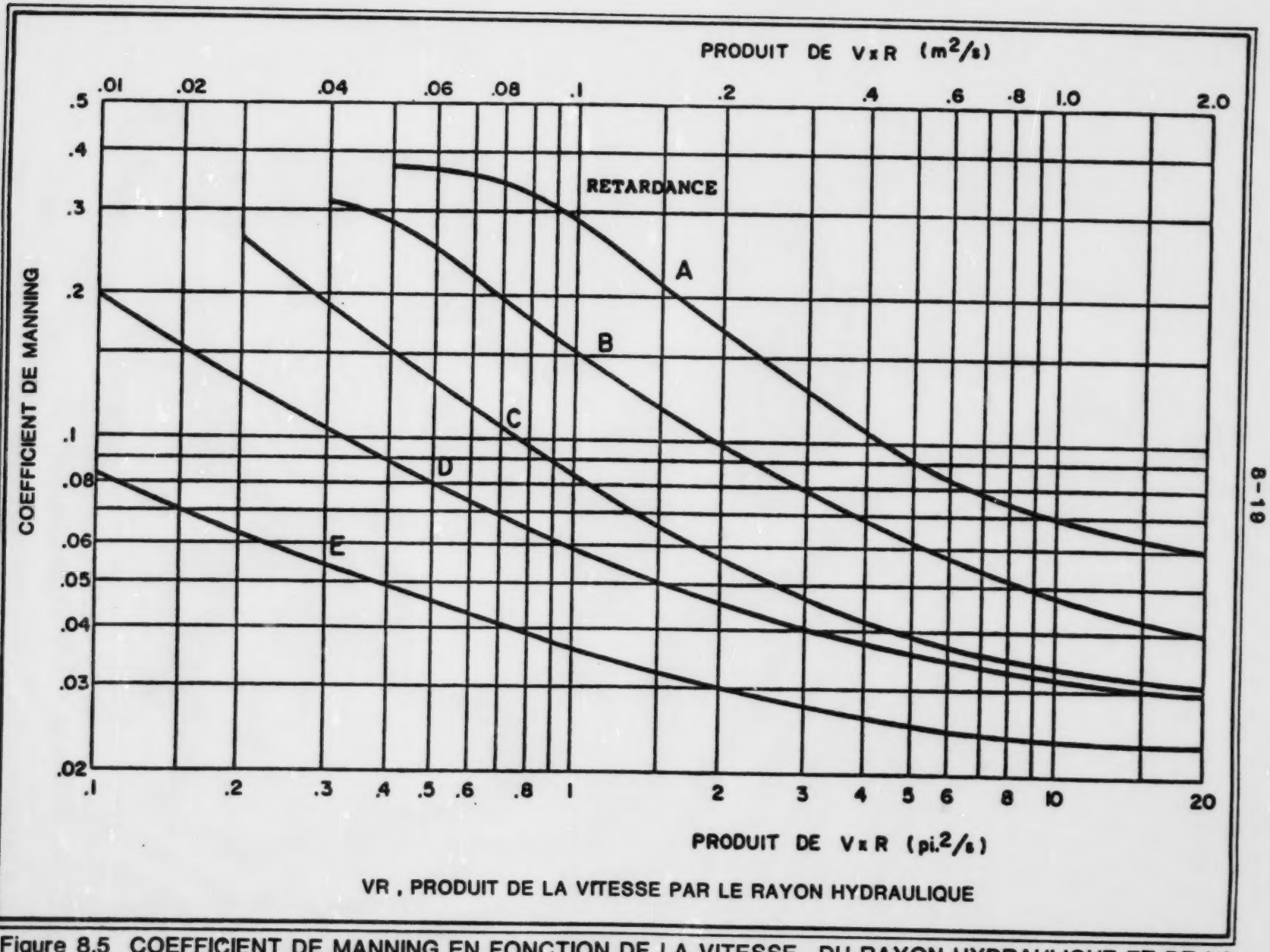
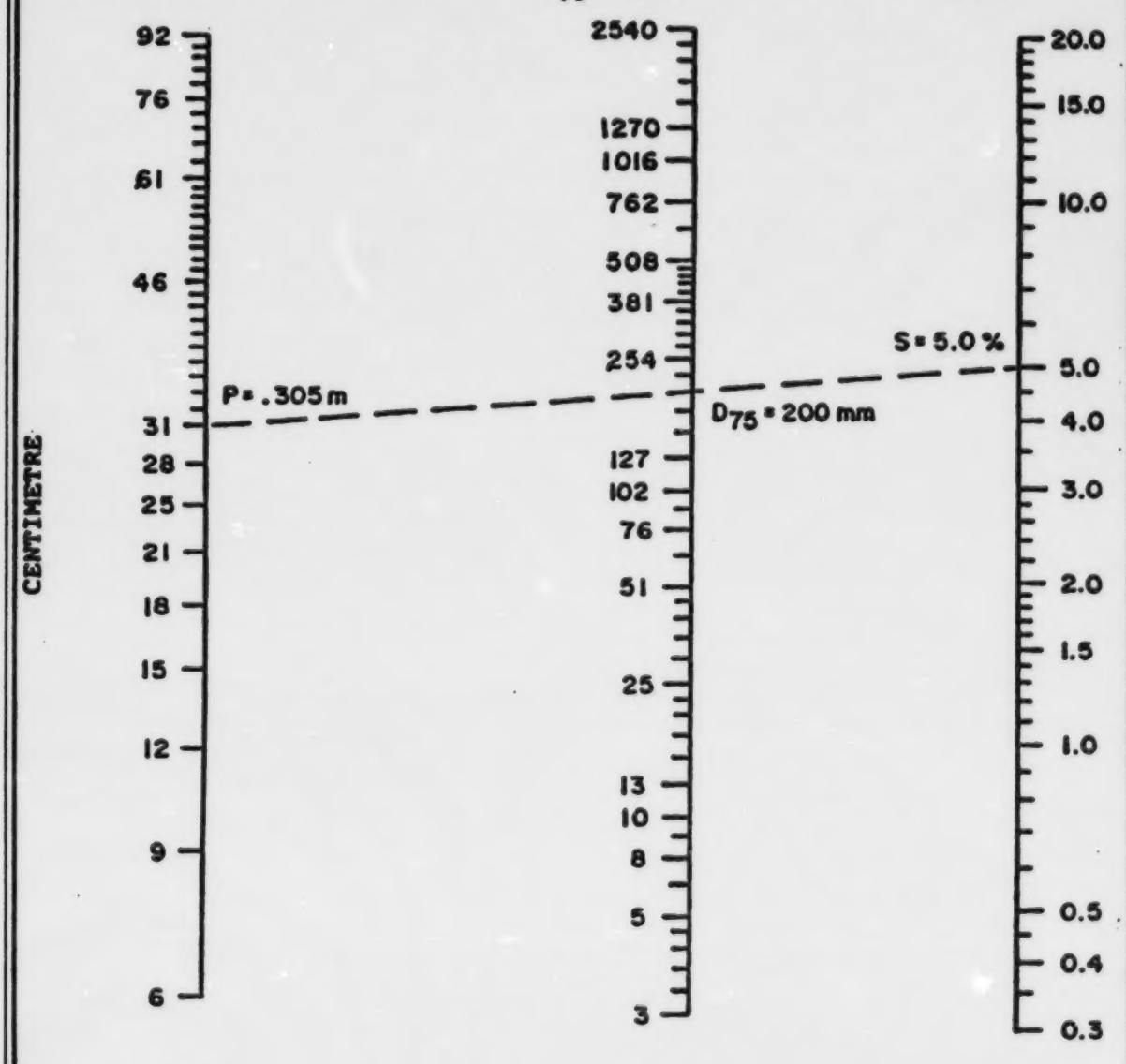


Figure 8.5 COEFFICIENT DE MANNING EN FONCTION DE LA VITESSE, DU RAYON HYDRAULIQUE ET DE LA RETARDANCE (ADAPTÉ DU S.C.S.)



EXEMPLE "P" = 0,3 m "S" = 5 %

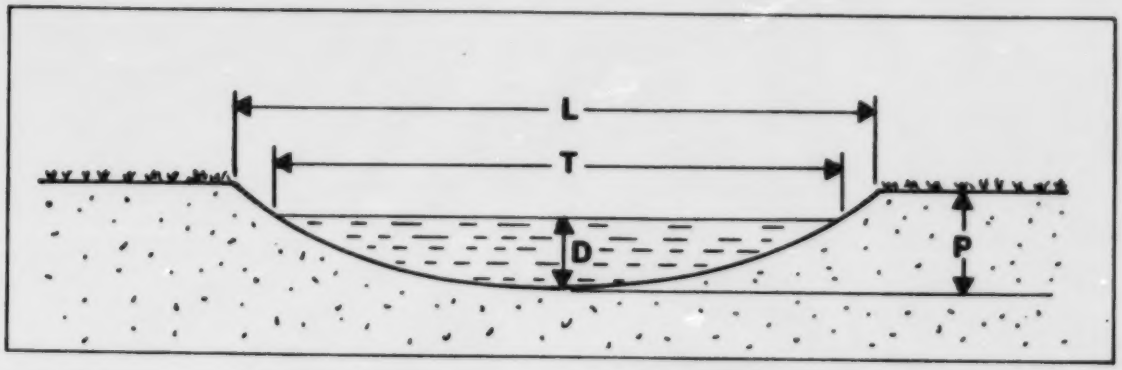
Relier en ligne droite la profondeur de design "P" avec la valeur de la pente "S". Lire la dimension des pierres sur la colonne du centre. Pour le design: 25 % des pierres doivent être de dimensions supérieures à 200 mm. Le 75 % restant doit être un matériau de dimensions variables, inférieures à 200 mm, incluant gravier et sable pour remplir les vides.

(Source U.S.S.C.S.)

Figure 8.6 DIMENSIONNEMENT DE LA PIERRE

ANNEXE A-8

Tableaux de dimensionnement des voies d'eau engazonnées (à section parabolique) pour les conditions de végétation D et C.



T = largeur au miroir pour la retardance "C" (m);
D = hauteur de l'écoulement pour la retardance "C" (m);
V_1 = vitesse permissible, retardance "D" (m/s);
V_2 = vitesse pour la retardance "C" (m/s);
L = largeur totale de la voie d'eau (m);
P = profondeur de la voie d'eau (incluant le facteur de sécurité) (m).

Source: Grassed waterways and outlets. Engineering field manual for Conservation Practices. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Washington D.C. June 1979. Adapté aux unités du S.I.

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V_1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V_2 pour retardance "C"

PENTE : 0,25 POURCENT

DEBITS m³/s	V_1 : 0,60			V_1 : 0,75			V_1 : 0,90			V_1 : 1,05			V_1 : 1,20			V_1 : 1,35			V_1 : 1,50			V_1 : 1,65			V_1 : 1,80		
	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2
0,40																											
0,55																											
0,70	2,95	0,72	0,50																								
0,85	3,50	0,70	0,51																								
1,00	4,00	0,69	0,53																								
1,15	4,60	0,68	0,54	3,20	0,81	0,65																					
1,30	5,15	0,68	0,54	3,55	0,79	0,67																					
1,45	5,66	0,67	0,55	3,90	0,79	0,68																					
1,60	6,25	0,67	0,55	4,30	0,78	0,69																					
1,70	6,80	0,67	0,56	4,65	0,77	0,70																					
1,85	7,30	0,66	0,56	5,05	0,77	0,70																					
2,00	7,85	0,66	0,56	5,40	0,77	0,71	3,85	0,93	0,82																		
2,15	8,40	0,66	0,57	5,75	0,76	0,72	4,10	0,91	0,84																		
2,30	9,00	0,66	0,57	6,15	0,76	0,72	4,35	0,92	0,84																		
2,55	10,10	0,66	0,57	6,90	0,76	0,72	4,90	0,90	0,85																		
2,80	11,20	0,66	0,57	7,65	0,76	0,72	5,40	0,90	0,86																		
3,10	12,30	0,66	0,57	8,40	0,75	0,73	5,90	0,89	0,88																		
3,40	13,40	0,66	0,57	9,15	0,75	0,73	6,45	0,88	0,88	4,65	1,09	1,00															
3,70	14,50	0,66	0,57	9,90	0,75	0,73	6,95	0,88	0,89	5,00	1,08	1,01															
4,00	15,60	0,66	0,57	10,65	0,75	0,74	7,50	0,88	0,89	5,35	1,07	1,02															
4,25	16,70	0,66	0,57	11,40	0,75	0,74	8,00	0,88	0,89	5,75	1,07	1,03															
4,50	17,80	0,66	0,57	12,20	0,75	0,74	8,55	0,88	0,90	6,10	1,06	1,04															
4,80	18,90	0,66	0,57	12,90	0,75	0,74	9,05	0,88	0,90	6,50	1,06	1,05	5,10	1,23	1,14												
5,10	20,00	0,66	0,58	13,66	0,75	0,74	9,60	0,87	0,90	6,85	1,05	1,05	5,40	1,22	1,16												
5,40	21,00	0,66	0,58	14,40	0,75	0,74	10,10	0,87	0,91	7,20	1,05	1,06	5,65	1,21	1,17												
5,65	22,20	0,66	0,58	15,15	0,75	0,74	10,65	0,87	0,91	7,55	1,05	1,06	5,95	1,20	1,19												
6,25	24,40	0,66	0,58	16,65	0,75	0,74	11,70	0,87	0,91	8,30	1,04	1,07	6,50	1,19	1,20												
6,80	26,60	0,66	0,58	18,15	0,75	0,74	12,75	0,87	0,91	9,05	1,03	1,08	7,05	1,18	1,21												
7,40	28,80	0,66	0,58	19,66	0,75	0,74	13,80	0,87	0,91	9,80	1,03	1,08	7,65	1,18	1,22	5,95	1,39	1,32									
8,00	31,00	0,66	0,58	21,20	0,75	0,74	14,85	0,87	0,91	10,55	1,03	1,08	8,20	1,17	1,23	6,40	1,39	1,32									
8,50	33,20	0,66	0,58	22,66	0,75	0,74	15,90	0,87	0,91	11,25	1,03	1,09	8,75	1,16	1,24	6,85	1,38	1,34									

Tableau A-8.1

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE : 0,50 POURCENT

DEBITS m³/s	V₁ : 0,60			V₁ : 0,75			V₁ : 0,90			V₁ : 1,05			V₁ : 1,20			V₁ : 1,35			V₁ : 1,50			V₁ : 1,65			V₁ : 1,80		
	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂
0,40	2,65	0,5	0,48																							
0,55	3,45	0,48	0,51																							
0,70	4,30	0,48	0,51	2,75	0,58	0,65																				
0,85	5,15	0,47	0,51	3,25	0,57	0,67	2,50	0,66	0,76																	
1,00	6,00	0,47	0,52	3,80	0,56	0,69	2,90	0,64	0,80																	
1,15	6,85	0,47	0,52	4,30	0,56	0,70	3,25	0,63	0,81																	
1,30	7,65	0,47	0,53	4,85	0,55	0,71	3,65	0,62	0,84																	
1,45	8,50	0,47	0,53	5,35	0,55	0,72	4,05	0,62	0,85	2,95	0,74	0,97														
1,60	9,35	0,47	0,53	5,85	0,55	0,72	4,45	0,62	0,85	3,20	0,73	0,99														
1,70	10,20	0,47	0,53	6,40	0,55	0,73	4,85	0,61	0,85	3,50	0,72	1,00														
1,85	11,00	0,47	0,53	6,90	0,55	0,72	5,20	0,61	0,87	3,75	0,72	1,02														
2,00	11,85	0,47	0,53	7,45	0,55	0,72	5,60	0,61	0,87	4,05	0,71	1,03														
2,15	12,70	0,47	0,53	8,00	0,55	0,72	6,00	0,61	0,87	4,30	0,71	1,04	3,45	0,83	1,12											
2,30	13,50	0,47	0,53	8,50	0,55	0,73	6,40	0,61	0,87	4,60	0,70	1,05	3,60	0,81	1,16											
2,55	15,20	0,47	0,53	9,50	0,54	0,73	7,20	0,61	0,87	5,15	0,70	1,04	4,05	0,81	1,15											
2,80	16,90	0,47	0,53	10,55	0,54	0,74	7,95	0,60	0,88	5,70	0,70	1,06	4,50	0,80	1,17	3,65	0,92	1,26								
3,10	18,55	0,47	0,53	11,60	0,54	0,73	8,75	0,60	0,88	6,25	0,69	1,07	4,90	0,79	1,19	4,00	0,91	1,29								
3,40	20,25	0,47	0,53	12,66	0,54	0,74	9,55	0,60	0,88	6,85	0,69	1,06	5,33	0,79	1,20	4,30	0,90	1,31								
3,70	21,85	0,47	0,54	13,70	0,54	0,74	10,30	0,60	0,89	7,60	0,69	1,07	5,75	0,78	1,21	4,66	0,89	1,33								
4,00	23,55	0,47	0,54	14,75	0,54	0,74	11,10	0,60	0,89	7,95	0,69	1,08	6,25	0,79	1,20	5,00	0,90	1,32								
4,25	25,20	0,47	0,54	15,80	0,54	0,74	11,85	0,60	0,89	8,50	0,69	1,08	6,65	0,78	1,21	5,35	0,88	1,34	4,30	1,02	1,45					
4,50	26,85	0,47	0,54	16,80	0,54	0,74	12,65	0,60	0,90	9,05	0,69	1,08	7,10	0,78	1,22	5,66	0,88	1,35	4,55	1,01	1,46					
4,80	28,50	0,47	0,54	17,85	0,54	0,74	13,45	0,60	0,90	9,60	0,69	1,08	7,50	0,78	1,23	6,05	0,87	1,35	4,80	1,00	1,50					
5,10	30,15	0,47	0,54	18,90	0,54	0,74	14,20	0,60	0,90	10,15	0,69	1,09	8,00	0,78	1,22	6,40	0,87	1,35	5,05	0,99	1,51					
5,40	31,80	0,47	0,54	19,95	0,54	0,74	15,00	0,60	0,90	10,75	0,69	1,08	8,40	0,78	1,23	6,70	0,87	1,37	5,35	0,99	1,51					
5,65	33,45	0,47	0,54	20,95	0,54	0,74	15,75	0,60	0,90	11,30	0,69	1,09	8,80	0,78	1,23	7,05	0,87	1,38	5,60	0,99	1,52	4,66	1,13	1,59		
6,25	36,75	0,47	0,54	23,00	0,54	0,74	17,35	0,60	0,90	12,40	0,69	1,09	9,70	0,78	1,23	7,75	0,87	1,38	6,15	0,99	1,53	5,10	1,12	1,63		
6,80	40,00	0,47	0,54	25,10	0,54	0,75	18,90	0,60	0,90	13,50	0,69	1,09	10,55	0,77	1,24	8,45	0,87	1,38	6,70	0,98	1,54	5,55	1,12	1,64		
7,40	43,35	0,47	0,54	27,20	0,54	0,75	20,45	0,60	0,90	14,65	0,69	1,09	11,45	0,77	1,24	9,15	0,87	1,38	7,25	0,98	1,54	6,00	1,11	1,64		
8,00	46,65	0,47	0,54	29,25	0,54	0,75	22,00	0,60	0,90	15,75	0,69	1,09	12,30	0,77	1,24	9,85	0,86	1,40	7,80	0,98	1,55	6,45	1,10	1,67	5,35	1,26	1,75
8,50	49,95	0,47	0,54	31,30	0,54	0,75	23,55	0,60	0,90	16,90	0,69	1,09	13,20	0,77	1,24	10,55	0,86	1,40	8,33	0,97	1,57	6,90	1,10	1,67	5,70	1,26	1,77

Tableau A-8.2

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE : 0,75 POURCENT

DEBITS m³/s	V_1 : 0,60			V_1 : 0,75			V_1 : 0,90			V_1 : 1,05			V_1 : 1,20			V_1 : 1,35			V_1 : 1,50			V_1 : 1,65			V_1 : 1,80		
	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2
0,40	3,60	0,39	0,45	2,10	0,49	0,62																					
0,55	4,75	0,38	0,45	2,70	0,47	0,65																					
0,70	5,90	0,38	0,46	3,35	0,46	0,68	2,50	0,53	0,79																		
0,85	7,05	0,38	0,46	4,05	0,46	0,68	2,95	0,51	0,82	2,35	0,58	0,91															
1,00	8,25	0,38	0,46	4,70	0,45	0,70	4,45	0,51	0,83	2,70	0,57	0,94															
1,15	9,40	0,38	0,46	5,35	0,45	0,70	3,90	0,50	0,85	3,10	0,57	0,96															
1,30	10,55	0,38	0,47	6,00	0,45	0,70	4,40	0,50	0,85	3,45	0,56	0,98															
1,45	11,70	0,38	0,47	6,65	0,45	0,70	4,85	0,50	0,87	3,80	0,55	0,99	2,85	0,66	1,11												
1,60	12,85	0,38	0,47	7,35	0,45	0,70	5,35	0,50	0,87	4,20	0,55	1,00	3,10	0,65	1,16												
1,70	14,00	0,38	0,47	7,95	0,45	0,70	5,85	0,50	0,87	4,60	0,55	0,99	3,35	0,65	1,16												
1,85	15,15	0,38	0,48	8,60	0,45	0,71	6,30	0,50	0,88	4,95	0,55	1,00	3,65	0,64	1,17	3,05	0,73	1,24									
2,00	16,30	0,38	0,48	9,30	0,45	0,71	6,80	0,50	0,88	5,30	0,55	1,01	3,90	0,64	1,17	3,25	0,72	1,27									
2,15	17,45	0,38	0,48	9,90	0,45	0,71	7,25	0,50	0,88	5,66	0,55	1,02	4,15	0,63	1,20	3,45	0,71	1,29									
2,30	18,60	0,38	0,48	10,60	0,45	0,71	7,75	0,50	0,88	6,05	0,54	1,02	4,45	0,63	1,20	3,66	0,70	1,30									
2,55	20,85	0,38	0,48	11,85	0,45	0,71	8,66	0,50	0,89	6,80	0,54	1,03	5,00	0,63	1,21	4,10	0,70	1,33	3,40	0,80	1,40						
2,80	23,15	0,38	0,48	13,20	0,45	0,71	9,60	0,50	0,89	7,55	0,54	1,03	5,55	0,63	1,21	4,55	0,70	1,33	3,75	0,78	1,45						
3,10	25,45	0,38	0,48	14,50	0,45	0,71	10,60	0,50	0,89	8,25	0,54	1,03	6,05	0,62	1,23	5,00	0,69	1,36	4,10	0,78	1,46						
3,40	27,70	0,38	0,48	15,80	0,45	0,71	11,55	0,50	0,89	9,05	0,54	1,04	6,60	0,62	1,23	5,45	0,69	1,36	4,45	0,77	1,46	3,70	0,87	1,57			
3,70	30,00	0,38	0,48	17,10	0,45	0,71	12,50	0,50	0,89	9,75	0,54	1,04	7,15	0,62	1,23	5,85	0,69	1,36	4,80	0,76	1,50	3,95	0,86	1,61			
4,00	32,25	0,38	0,48	18,40	0,45	0,71	13,45	0,50	0,89	10,50	0,54	1,04	7,65	0,62	1,25	6,30	0,69	1,36	5,15	0,76	1,50	4,20	0,86	1,61			
4,25	34,50	0,38	0,48	19,66	0,45	0,72	14,35	0,49	0,89	11,25	0,54	1,05	8,20	0,62	1,25	6,75	0,68	1,38	5,55	0,76	1,50	4,60	0,86	1,62			
4,50	36,75	0,38	0,48	21,00	0,45	0,72	15,30	0,49	0,89	12,00	0,54	1,05	8,75	0,62	1,25	7,20	0,68	1,38	5,90	0,76	1,50	4,85	0,84	1,65	4,00	0,95	1,77
4,80	39,00	0,38	0,48	22,25	0,45	0,72	16,25	0,49	0,89	12,75	0,54	1,05	9,30	0,62	1,25	7,65	0,68	1,38	6,25	0,76	1,52	5,15	0,84	1,65	4,25	0,95	1,78
5,10	41,25	0,38	0,48	23,55	0,45	0,72	17,20	0,49	0,89	13,45	0,54	1,05	9,85	0,62	1,25	8,10	0,68	1,38	6,60	0,76	1,52	5,45	0,84	1,67	4,50	0,95	1,78
5,40	43,50	0,38	0,48	24,85	0,45	0,72	18,15	0,49	0,89	14,20	0,54	1,05	10,40	0,62	1,25	8,50	0,68	1,39	6,95	0,76	1,52	5,75	0,84	1,67	4,75	0,95	1,79
5,65	45,75	0,38	0,48	26,15	0,45	0,72	19,05	0,49	0,90	14,90	0,54	1,05	10,90	0,62	1,25	9,00	0,68	1,39	7,35	0,76	1,52	6,00	0,83	1,69	5,00	0,95	1,79
6,25	50,25	0,38	0,48	28,75	0,45	0,72	20,95	0,49	0,90	16,45	0,54	1,05	12,00	0,62	1,25	9,85	0,68	1,39	8,05	0,75	1,54	6,65	0,83	1,69	5,45	0,94	1,80
6,80	54,75	0,38	0,48	31,30	0,45	0,72	22,85	0,49	0,90	17,90	0,54	1,05	13,05	0,62	1,25	10,75	0,68	1,39	8,75	0,75	1,54	7,20	0,83	1,69	5,95	0,93	1,84
7,40	59,20	0,38	0,48	33,90	0,45	0,72	24,75	0,49	0,90	19,40	0,54	1,05	14,15	0,62	1,25	11,65	0,68	1,39	9,45	0,75	1,55	7,80	0,82	1,72	6,40	0,93	1,84
8,00	63,70	0,38	0,48	36,45	0,45	0,72	26,65	0,49	0,90	20,85	0,54	1,05	15,25	0,62	1,25	12,50	0,68	1,40	10,20	0,75	1,55	8,35	0,82	1,72	6,90	0,93	1,85
8,50	68,20	0,38	0,48	39,00	0,45	0,72	28,50	0,49	0,90	22,30	0,54	1,05	16,30	0,62	1,25	13,40	0,68	1,40	10,95	0,75	1,55	9,00	0,82	1,72	7,40	0,95	1,85

Tableau A-8.3

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE : 1,00 POURCENT

DEBITS m³/s	V₁ : 0,60			V₁ : 0,75			V₁ : 0,90			V₁ : 1,05			V₁ : 1,20			V₁ : 1,35			V₁ : 1,50			V₁ : 1,65			V₁ : 1,80		
	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂
0,40	4,10	0,34	0,45	2,55	0,40	0,62																					
0,55	5,45	0,34	0,45	3,40	0,39	0,64	2,35	0,46	0,78																		
0,70	6,80	0,34	0,46	4,25	0,39	0,64	2,90	0,45	0,80	2,35	0,49	0,91															
0,85	8,10	0,34	0,46	5,05	0,38	0,65	3,45	0,44	0,83	2,80	0,49	0,92															
1,00	9,45	0,34	0,46	5,90	0,38	0,65	4,00	0,44	0,84	3,20	0,48	0,96	2,45	0,55	1,09												
1,15	10,80	0,34	0,46	6,75	0,38	0,65	4,50	0,44	0,85	3,66	0,48	0,96	2,80	0,54	1,11												
1,30	12,10	0,34	0,46	7,55	0,38	0,65	5,10	0,44	0,84	4,10	0,47	0,98	3,10	0,54	1,13												
1,45	13,45	0,34	0,46	8,40	0,38	0,66	5,65	0,44	0,85	4,55	0,47	0,98	3,45	0,53	1,14	2,65	0,62	1,28									
1,60	14,75	0,34	0,47	9,20	0,38	0,66	6,20	0,44	0,85	5,00	0,47	0,99	3,80	0,53	1,15	2,90	0,61	1,31									
1,70	16,10	0,34	0,46	10,05	0,38	0,66	6,75	0,44	0,86	5,45	0,47	0,99	4,15	0,53	1,16	3,20	0,61	1,30									
1,85	17,40	0,34	0,47	10,85	0,38	0,66	7,30	0,44	0,86	5,85	0,47	1,00	4,45	0,53	1,16	3,45	0,60	1,32	2,85	0,68	1,42						
2,00	18,70	0,34	0,47	11,70	0,38	0,66	7,85	0,44	0,87	6,30	0,47	1,00	4,75	0,52	1,19	3,66	0,60	1,34	3,05	0,67	1,43						
2,15	20,00	0,34	0,47	12,50	0,38	0,66	8,40	0,43	0,87	6,75	0,47	1,01	5,10	0,52	1,19	3,90	0,60	1,36	3,25	0,67	1,44						
2,30	21,30	0,34	0,47	13,33	0,38	0,66	8,95	0,43	0,87	7,20	0,47	1,00	5,45	0,52	1,19	4,20	0,60	1,35	3,45	0,66	1,48						
2,55	23,95	0,34	0,47	15,00	0,38	0,66	10,05	0,43	0,87	8,10	0,47	1,01	6,10	0,52	1,20	4,66	0,60	1,38	3,90	0,66	1,48	3,25	0,74	1,59			
2,80	26,55	0,34	0,47	16,65	0,38	0,66	11,15	0,44	0,87	9,00	0,46	1,01	6,80	0,52	1,20	5,20	0,60	1,38	4,30	0,66	1,49	3,60	0,73	1,62			
3,10	29,15	0,34	0,47	18,30	0,38	0,66	12,25	0,43	0,87	9,85	0,46	1,01	7,45	0,52	1,20	5,70	0,60	1,38	4,70	0,65	1,52	3,95	0,73	1,61	3,40	0,79	1,73
3,40	31,80	0,34	0,47	19,90	0,38	0,67	13,35	0,43	0,87	10,75	0,46	1,01	8,10	0,52	1,20	6,20	0,60	1,40	5,15	0,65	1,52	4,30	0,72	1,63	3,70	0,79	1,73
3,70	34,40	0,34	0,47	21,55	0,38	0,67	14,45	0,43	0,87	11,65	0,46	1,02	8,80	0,52	1,20	6,70	0,60	1,40	5,55	0,65	1,52	4,60	0,72	1,66	4,00	0,78	1,78
4,00	37,00	0,34	0,47	23,75	0,38	0,67	15,55	0,43	0,87	12,50	0,46	1,02	9,45	0,51	1,22	7,25	0,60	1,39	6,00	0,65	1,52	4,95	0,71	1,68	4,30	0,78	1,78
4,25	39,60	0,34	0,47	24,80	0,38	0,67	16,65	0,43	0,87	13,40	0,46	1,02	10,10	0,51	1,22	7,75	0,58	1,41	6,40	0,64	1,55	5,30	0,72	1,66	4,60	0,78	1,78
4,50	42,15	0,34	0,47	26,40	0,38	0,67	17,75	0,43	0,88	14,30	0,46	1,02	10,80	0,51	1,22	8,25	0,58	1,41	6,80	0,64	1,54	5,65	0,71	1,68	4,85	0,77	1,81
4,80	44,70	0,34	0,47	28,05	0,38	0,67	18,85	0,43	0,88	15,15	0,46	1,02	11,45	0,51	1,22	8,75	0,58	1,40	7,25	0,64	1,54	6,00	0,71	1,70	5,15	0,77	1,81
5,10	47,30	0,34	0,47	29,65	0,38	0,67	19,95	0,43	0,88	16,00	0,46	1,02	12,10	0,51	1,22	9,25	0,58	1,41	7,65	0,64	1,55	6,30	0,70	1,71	5,45	0,77	1,81
5,40	49,85	0,34	0,47	31,25	0,38	0,67	21,00	0,43	0,88	16,90	0,46	1,02	12,75	0,51	1,22	9,75	0,58	1,41	8,05	0,64	1,55	6,70	0,71	1,70	5,75	0,76	1,84
5,65	52,40	0,34	0,47	32,90	0,38	0,67	22,10	0,43	0,88	17,80	0,46	1,02	13,45	0,51	1,22	10,25	0,58	1,42	8,50	0,64	1,55	7,00	0,71	1,70	6,05	0,76	1,83
6,25	57,55	0,34	0,47	36,10	0,38	0,67	24,30	0,43	0,88	19,55	0,46	1,03	14,75	0,52	1,22	11,30	0,58	1,41	9,30	0,64	1,56	7,75	0,71	1,70	6,65	0,76	1,85
6,80	62,70	0,34	0,47	39,35	0,38	0,67	26,45	0,43	0,88	21,30	0,46	1,03	16,10	0,51	1,22	12,30	0,58	1,41	10,15	0,64	1,56	8,40	0,70	1,72	7,20	0,75	1,87
7,40	67,85	0,34	0,47	42,60	0,38	0,67	28,65	0,43	0,88	23,00	0,46	1,03	17,45	0,51	1,22	13,30	0,58	1,42	11,00	0,64	1,57	9,10	0,70	1,72	7,80	0,76	1,86
8,00	72,95	0,34	0,47	45,80	0,38	0,68	30,80	0,43	0,89	24,80	0,46	1,03	18,75	0,51	1,23	14,30	0,58	1,43	11,85	0,64	1,56	9,80	0,70	1,72	8,40	0,75	1,86
8,50	78,00	0,34	0,47	49,00	0,38	0,68	33,00	0,43	0,89	26,55	0,46	1,03	20,00	0,51	1,23	15,35	0,58	1,42	12,66	0,64	1,57	10,45	0,70	1,73	9,00	0,76	1,87

8-25

Tableau A-8.4

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE : 1,25 POURCENT

DEBITS m³/s	V1 : 0,60			V1 : 0,75			V1 : 0,90			V1 : 1,05			V1 : 1,20			V1 : 1,35			V1 : 1,50			V1 : 1,65			V1 : 1,80		
	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2
0,40	4,70	0,30	0,45	3,90	0,35	0,59	2,00	0,42	0,74																	
0,55	6,25	0,30	0,45	3,95	0,34	0,62	2,65	0,40	0,78	2,00	0,45	0,90														
0,70	7,75	0,30	0,45	4,90	0,34	0,62	3,30	0,40	0,80	2,50	0,45	0,93	2,05	0,49	1,03											
0,85	9,30	0,30	0,45	5,90	0,34	0,62	3,95	0,39	0,81	2,95	0,44	0,98	2,40	0,48	1,09											
1,00	10,85	0,30	0,45	6,85	0,34	0,62	4,60	0,39	0,82	3,45	0,43	0,98	2,80	0,47	1,10	2,20	0,54	1,23								
1,15	12,35	0,30	0,45	7,85	0,34	0,62	5,20	0,39	0,82	3,95	0,43	0,99	3,20	0,47	1,11	2,50	0,54	1,24								
1,30	13,90	0,30	0,45	8,80	0,34	0,63	5,85	0,39	0,83	4,40	0,43	1,00	3,60	0,46	1,14	2,80	0,52	1,29								
1,45	15,40	0,30	0,45	9,75	0,34	0,63	6,50	0,39	0,83	4,90	0,43	1,00	3,95	0,46	1,14	3,10	0,52	1,30	2,55	0,59	1,39					
1,60	16,90	0,30	0,45	10,70	0,34	0,63	7,15	0,39	0,83	5,40	0,43	1,00	4,35	0,46	1,14	3,40	0,52	1,31	2,80	0,59	1,41					
1,70	18,40	0,30	0,45	11,70	0,34	0,63	7,80	0,39	0,83	5,85	0,42	1,02	4,75	0,46	1,14	3,70	0,52	1,31	3,05	0,59	1,42					
1,85	19,90	0,30	0,45	12,65	0,34	0,63	8,45	0,39	0,83	6,30	0,42	1,02	5,15	0,46	1,16	3,95	0,51	1,34	3,25	0,57	1,48	2,65	0,66	1,54		
2,00	21,40	0,30	0,45	13,60	0,34	0,63	9,05	0,39	0,84	6,80	0,42	1,02	5,55	0,46	1,16	4,30	0,51	1,34	3,50	0,57	1,48	2,85	0,65	1,58		
2,15	22,90	0,30	0,45	14,55	0,34	0,63	9,70	0,39	0,84	7,25	0,42	1,03	5,95	0,46	1,16	4,60	0,51	1,34	3,75	0,57	1,49	3,05	0,65	1,61		
2,30	24,40	0,30	0,45	15,50	0,34	0,63	10,30	0,39	0,84	7,75	0,42	1,03	6,30	0,46	1,17	4,90	0,51	1,34	3,95	0,57	1,49	3,20	0,64	1,64	2,80	0,71	1,68
2,55	27,35	0,30	0,45	17,20	0,34	0,63	11,60	0,39	0,84	8,70	0,42	1,03	7,10	0,46	1,17	5,45	0,51	1,37	4,45	0,57	1,50	3,60	0,64	1,65	3,15	0,70	1,70
2,80	30,40	0,30	0,45	19,30	0,34	0,64	12,90	0,39	0,84	9,66	0,42	1,03	7,85	0,46	1,17	6,10	0,51	1,37	4,95	0,56	1,50	4,00	0,64	1,65	3,50	0,70	1,73
3,10	33,40	0,30	0,45	21,25	0,34	0,64	14,15	0,39	0,84	10,60	0,42	1,03	8,65	0,46	1,17	6,70	0,51	1,37	5,45	0,56	1,51	4,40	0,64	1,65	3,80	0,68	1,79
3,40	36,35	0,30	0,45	23,15	0,34	0,64	15,40	0,39	0,85	11,60	0,42	1,03	9,40	0,46	1,18	7,25	0,51	1,37	5,90	0,56	1,54	4,75	0,63	1,69	4,15	0,68	1,80
3,70	39,30	0,30	0,45	25,00	0,34	0,64	16,70	0,39	0,85	12,55	0,42	1,03	10,15	0,46	1,18	7,90	0,51	1,37	6,40	0,56	1,54	5,15	0,63	1,69	4,45	0,68	1,81
4,00	42,30	0,30	0,45	26,90	0,34	0,64	17,95	0,39	0,85	13,50	0,42	1,03	10,95	0,46	1,18	8,50	0,51	1,37	6,85	0,56	1,54	5,55	0,63	1,69	4,80	0,68	1,82
4,25	45,20	0,30	0,45	28,80	0,34	0,64	19,20	0,39	0,85	14,45	0,42	1,04	11,70	0,46	1,18	9,05	0,51	1,38	7,35	0,56	1,54	5,95	0,62	1,71	5,15	0,67	1,83
4,50	48,15	0,30	0,45	30,70	0,34	0,64	20,45	0,39	0,85	15,40	0,42	1,04	12,50	0,46	1,18	9,66	0,51	1,38	7,85	0,56	1,54	6,30	0,62	1,71	5,45	0,67	1,83
4,80	51,10	0,30	0,45	32,55	0,34	0,64	21,70	0,39	0,85	16,30	0,42	1,04	13,25	0,46	1,18	10,25	0,51	1,38	8,35	0,56	1,54	6,70	0,62	1,71	5,80	0,67	1,84
5,10	54,00	0,30	0,45	34,45	0,34	0,64	23,00	0,39	0,85	17,25	0,42	1,04	14,00	0,46	1,18	10,85	0,51	1,38	8,80	0,56	1,54	7,10	0,62	1,71	6,15	0,67	1,84
5,40	56,90	0,30	0,45	36,30	0,34	0,64	24,25	0,39	0,85	18,20	0,42	1,04	14,80	0,46	1,18	11,45	0,51	1,38	9,30	0,56	1,55	7,50	0,62	1,72	6,50	0,67	1,84
5,65	59,80	0,30	0,45	38,15	0,34	0,65	25,50	0,39	0,85	19,15	0,42	1,04	15,55	0,46	1,18	12,05	0,51	1,38	9,75	0,56	1,55	7,90	0,62	1,72	6,80	0,67	1,85
6,25	65,70	0,30	0,45	41,90	0,34	0,65	28,00	0,39	0,85	21,05	0,42	1,04	17,10	0,46	1,19	13,25	0,51	1,38	10,75	0,56	1,55	8,65	0,62	1,72	7,50	0,67	1,85
6,80	71,60	0,30	0,46	45,70	0,34	0,65	30,50	0,39	0,85	22,95	0,42	1,04	18,65	0,46	1,19	14,45	0,51	1,38	11,70	0,56	1,55	9,45	0,62	1,72	8,15	0,67	1,86
7,40	77,40	0,30	0,46	49,40	0,34	0,65	33,00	0,39	0,85	24,85	0,42	1,04	20,15	0,46	1,19	15,60	0,51	1,39	12,66	0,56	1,56	10,20	0,62	1,73	8,80	0,66	1,88
8,00	83,25	0,30	0,46	53,15	0,34	0,65	35,50	0,39	0,85	26,75	0,42	1,04	21,70	0,46	1,19	16,80	0,51	1,39	13,65	0,56	1,56	11,00	0,62	1,72	9,45	0,66	1,88
8,50	89,00	0,30	0,46	56,90	0,34	0,65	38,00	0,39	0,86	28,60	0,42	1,04	23,25	0,46	1,19	18,00	0,51	1,39	14,60	0,56	1,56	11,75	0,62	1,74	10,15	0,66	1,88

Tableau A-8.5

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

DEBITS m³/s	V_1 : 0,60			V_1 : 0,75			V_1 : 0,90			V_1 : 1,05			V_1 : 1,20			V_1 : 1,35			V_1 : 1,50			V_1 : 1,65			V_1 : 1,80		
	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2
0,40	5,20	0,30	0,43	3,45	0,22	0,57	2,35	0,37	0,73																		
0,55	6,90	0,30	0,43	4,55	0,31	0,59	3,05	0,35	0,77	2,15	0,43	0,92	1,75	0,46	1,03												
0,70	8,65	0,30	0,43	5,66	0,31	0,60	3,80	0,35	0,79	2,60	0,41	0,97	2,15	0,44	1,10												
0,85	10,35	0,30	0,43	6,80	0,31	0,60	4,55	0,35	0,79	3,15	0,41	0,98	2,55	0,44	1,10	2,10	0,48	1,23									
1,00	12,05	0,30	0,43	7,95	0,31	0,60	5,30	0,35	0,80	3,65	0,40	1,01	3,00	0,44	1,14	2,45	0,47	1,26									
1,15	13,70	0,30	0,44	9,05	0,31	0,60	6,05	0,35	0,80	4,15	0,40	1,01	3,40	0,44	1,14	2,75	0,47	1,28	2,15	0,54	1,41						
1,30	15,40	0,30	0,44	10,15	0,31	0,60	6,75	0,35	0,80	4,65	0,40	1,03	3,80	0,43	1,16	3,10	0,47	1,30	2,45	0,54	1,41						
1,45	17,10	0,30	0,44	11,30	0,31	0,60	7,50	0,35	0,81	5,15	0,40	1,03	4,20	0,42	1,18	3,45	0,46	1,31	2,70	0,53	1,46						
1,60	18,75	0,30	0,44	12,40	0,31	0,60	8,25	0,35	0,81	5,66	0,40	1,03	4,60	0,42	1,18	3,80	0,46	1,32	2,95	0,53	1,50	2,50	0,59	1,57			
1,70	20,45	0,30	0,44	13,50	0,31	0,60	9,00	0,35	0,81	6,15	0,40	1,03	5,00	0,41	1,19	4,10	0,46	1,32	3,20	0,53	1,50	2,70	0,58	1,59			
1,85	22,10	0,30	0,44	14,60	0,31	0,60	9,75	0,35	0,81	6,70	0,40	1,03	5,45	0,42	1,19	4,45	0,46	1,33	3,45	0,52	1,51	2,95	0,58	1,62			
2,00	23,75	0,30	0,44	15,70	0,31	0,60	10,45	0,35	0,81	7,20	0,40	1,04	5,80	0,42	1,19	4,80	0,46	1,34	3,70	0,52	1,51	3,15	0,57	1,63	2,70	0,65	1,69
2,15	25,40	0,30	0,44	16,75	0,31	0,60	11,20	0,35	0,81	7,70	0,40	1,04	6,25	0,42	1,19	5,10	0,46	1,34	3,95	0,52	1,53	3,35	0,57	1,65	2,90	0,64	1,71
2,30	27,05	0,30	0,44	17,90	0,31	0,60	11,95	0,35	0,81	8,20	0,40	1,05	6,65	0,42	1,20	5,45	0,45	1,34	4,25	0,52	1,51	3,60	0,57	1,66	3,00	0,62	1,78
2,55	30,40	0,30	0,44	20,10	0,31	0,61	13,45	0,35	0,81	9,20	0,40	1,05	7,50	0,42	1,20	6,15	0,45	1,36	4,75	0,52	1,53	4,00	0,57	1,66	3,40	0,62	1,80
2,80	33,70	0,30	0,44	22,25	0,31	0,61	14,90	0,35	0,81	10,20	0,40	1,06	8,30	0,42	1,20	6,80	0,45	1,36	5,30	0,52	1,54	4,45	0,56	1,68	3,75	0,62	1,81
3,10	37,00	0,30	0,44	24,45	0,31	0,61	16,35	0,35	0,81	11,20	0,40	1,06	9,15	0,42	1,20	7,50	0,45	1,36	5,80	0,52	1,55	4,90	0,56	1,69	4,15	0,61	1,83
3,40	40,33	0,30	0,44	26,65	0,31	0,61	17,80	0,35	0,81	12,20	0,40	1,06	9,95	0,42	1,20	8,15	0,45	1,36	6,30	0,52	1,55	5,35	0,56	1,69	4,50	0,61	1,84
3,70	43,60	0,30	0,45	28,80	0,31	0,61	19,30	0,35	0,81	13,20	0,40	1,06	10,75	0,42	1,20	8,80	0,45	1,36	6,85	0,52	1,55	5,75	0,56	1,69	4,85	0,61	1,85
4,00	46,85	0,30	0,45	31,00	0,31	0,61	20,75	0,35	0,81	14,20	0,40	1,06	11,55	0,42	1,21	9,50	0,45	1,36	7,33	0,52	1,58	6,20	0,56	1,71	5,20	0,61	1,85
4,25	50,10	0,30	0,45	33,15	0,31	0,61	22,20	0,35	0,81	15,20	0,40	1,06	12,40	0,42	1,21	10,15	0,45	1,37	7,85	0,51	1,58	6,60	0,55	1,71	5,60	0,61	1,86
4,50	53,40	0,30	0,45	35,30	0,31	0,61	23,66	0,35	0,81	16,20	0,40	1,06	13,20	0,42	1,21	10,85	0,45	1,37	8,35	0,51	1,58	7,10	0,55	1,71	5,95	0,60	1,87
4,80	56,60	0,30	0,45	37,45	0,31	0,61	25,10	0,35	0,82	17,20	0,40	1,06	14,00	0,42	1,21	11,50	0,45	1,37	8,90	0,51	1,58	7,50	0,55	1,71	6,30	0,60	1,87
5,10	59,85	0,30	0,45	39,60	0,31	0,61	26,55	0,35	0,82	18,20	0,40	1,06	14,80	0,42	1,21	12,15	0,45	1,37	9,40	0,51	1,58	7,95	0,55	1,72	6,70	0,60	1,87
5,40	63,05	0,30	0,45	41,70	0,31	0,61	28,00	0,35	0,82	19,20	0,40	1,06	15,65	0,42	1,21	12,80	0,45	1,37	9,90	0,51	1,58	8,35	0,55	1,72	7,05	0,60	1,87
5,65	66,25	0,30	0,45	29,45	0,31	0,61	29,45	0,35	0,82	20,20	0,40	1,06	16,45	0,42	1,21	13,50	0,45	1,37	10,45	0,51	1,58	8,80	0,55	1,72	7,40	0,60	1,88
6,25	72,75	0,30	0,45	48,15	0,31	0,61	32,33	0,35	0,82	22,20	0,40	1,06	18,10	0,42	1,21	14,80	0,45	1,37	11,50	0,51	1,58	9,66	0,55	1,72	8,15	0,60	1,88
6,80	79,20	0,30	0,45	52,45	0,31	0,61	35,25	0,35	0,82	24,20	0,40	1,06	19,70	0,42	1,21	16,15	0,45	1,37	12,50	0,51	1,60	10,55	0,55	1,72	8,90	0,60	1,89
7,40	85,66	0,30	0,45	56,75	0,31	0,62	38,10	0,35	0,82	26,20	0,40	1,07	21,30	0,42	1,21	17,50	0,45	1,38	13,50	0,51	1,60	11,40	0,55	1,72	9,60	0,60	1,89
8,00	92,10	0,30	0,45	61,00	0,31	0,62	41,00	0,35	0,82	28,20	0,40	1,07	22,95	0,42	1,22	18,90	0,45	1,38	14,55	0,51	1,60	12,30	0,55	1,73	10,35	0,60	1,89
8,50	98,50	0,30	0,45	65,30	0,31	0,62	43,90	0,35	0,82	30,20	0,40	1,07	24,55	0,42	1,22	20,15	0,45	1,38	15,60	0,51	1,60	13,15	0,55	1,73	11,10	0,60	1,89

Tableau A-8.6

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE 1,75 POURCENT

DEBITS m³/s	V_1 : 0,60			V_1 : 0,75			V_1 : 0,90			V_1 : 1,05			V_1 : 1,20			V_1 : 1,35			V_1 : 1,50			V_1 : 1,65			V_1 : 1,80		
	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2
0,40	5,65	0,26	0,42	3,70	0,30	0,58	2,60	0,33	0,73	1,80	0,39	0,89															
0,55	7,50	0,26	0,43	4,90	0,30	0,58	3,45	0,32	0,74	2,40	0,38	0,92	2,00	0,40	1,03												
0,70	9,33	0,26	0,43	6,15	0,30	0,58	4,30	0,32	0,75	2,95	0,37	0,94	2,50	0,40	1,04	2,00	0,44	1,16									
0,85	11,20	0,26	0,43	7,30	0,30	0,58	5,10	0,32	0,76	3,55	0,37	0,95	2,95	0,39	1,09	2,40	0,43	1,22									
1,00	13,00	0,26	0,43	8,55	0,30	0,58	6,00	0,32	0,76	4,10	0,36	0,98	3,40	0,39	1,09	2,75	0,43	1,22	2,15	0,48	1,39						
1,15	14,85	0,26	0,43	9,75	0,30	0,59	6,85	0,32	0,76	4,66	0,36	0,99	3,90	0,39	1,12	3,15	0,42	1,26	2,45	0,48	1,40						
1,30	16,70	0,26	0,43	11,00	0,30	0,59	7,65	0,32	0,77	5,25	0,36	0,99	4,35	0,39	1,12	3,50	0,42	1,26	2,75	0,48	1,41	2,30	0,52	1,56			
1,45	18,50	0,26	0,43	12,15	0,30	0,59	8,50	0,32	0,77	5,85	0,36	0,99	4,85	0,38	1,12	3,90	0,41	1,28	3,05	0,47	1,46	2,55	0,52	1,58			
1,60	20,30	0,26	0,43	13,35	0,30	0,59	9,33	0,32	0,77	6,40	0,36	0,99	5,30	0,38	1,12	4,30	0,41	1,28	3,35	0,47	1,46	2,75	0,52	1,60	2,30	0,58	1,72
1,70	22,10	0,26	0,43	14,55	0,30	0,59	10,15	0,32	0,77	6,95	0,36	1,00	5,75	0,38	1,14	4,70	0,41	1,28	3,66	0,47	1,46	3,00	0,51	1,61	2,50	0,58	1,72
1,85	23,90	0,26	0,43	15,75	0,30	0,59	11,00	0,32	0,77	7,55	0,36	1,00	6,25	0,38	1,14	5,05	0,41	1,30	3,95	0,46	1,50	3,25	0,51	1,63	2,70	0,57	1,76
2,00	25,70	0,26	0,43	16,95	0,30	0,59	11,85	0,32	0,77	8,10	0,36	1,00	6,70	0,38	1,14	5,45	0,41	1,30	4,25	0,46	1,50	3,50	0,51	1,64	2,90	0,57	1,72
2,15	27,50	0,26	0,43	18,15	0,30	0,59	12,66	0,32	0,77	8,70	0,36	1,00	7,20	0,38	1,14	5,85	0,41	1,30	4,55	0,46	1,50	3,75	0,51	1,65	3,10	0,57	1,80
2,30	29,30	0,26	0,43	19,30	0,30	0,59	13,50	0,32	0,78	9,25	0,36	1,00	7,65	0,38	1,15	6,25	0,41	1,30	4,85	0,46	1,50	4,00	0,51	1,65	3,30	0,57	1,80
2,55	32,90	0,26	0,44	21,65	0,30	0,59	15,15	0,32	0,78	10,40	0,36	1,00	8,60	0,38	1,15	7,00	0,41	1,30	5,45	0,46	1,51	4,50	0,50	1,66	3,70	0,57	1,80
2,80	36,45	0,26	0,44	24,00	0,30	0,59	16,80	0,32	0,78	11,50	0,36	1,00	9,55	0,38	1,15	7,75	0,41	1,31	6,05	0,46	1,51	5,00	0,50	1,68	4,10	0,56	1,82
3,10	40,00	0,26	0,44	26,40	0,30	0,60	18,45	0,32	0,78	12,65	0,36	1,00	10,50	0,38	1,15	8,50	0,41	1,31	6,60	0,46	1,52	5,45	0,50	1,68	4,50	0,56	1,84
3,40	43,60	0,26	0,44	28,75	0,30	0,60	20,10	0,32	0,78	13,80	0,36	1,00	11,45	0,38	1,15	9,25	0,41	1,32	7,25	0,46	1,52	5,95	0,50	1,69	4,90	0,56	1,86
3,70	47,10	0,26	0,44	31,10	0,30	0,60	21,75	0,32	0,78	14,95	0,36	1,00	12,40	0,38	1,15	10,00	0,41	1,32	7,80	0,46	1,52	6,45	0,50	1,70	5,30	0,55	1,87
4,00	50,66	0,26	0,44	33,45	0,30	0,60	23,40	0,32	0,78	16,10	0,36	1,00	13,30	0,38	1,15	10,80	0,41	1,32	8,40	0,46	1,52	6,90	0,50	1,70	5,65	0,55	1,87
4,25	54,15	0,26	0,44	35,75	0,30	0,60	25,00	0,32	0,78	17,20	0,36	1,00	14,20	0,38	1,15	11,55	0,41	1,32	9,00	0,46	1,53	7,40	0,50	1,70	6,10	0,55	1,87
4,50	57,70	0,26	0,44	38,00	0,30	0,60	26,70	0,32	0,78	18,33	0,36	1,00	15,20	0,38	1,16	12,33	0,41	1,32	9,60	0,46	1,53	7,90	0,50	1,70	6,50	0,55	1,87
4,80	61,15	0,26	0,44	40,40	0,30	0,60	28,30	0,32	0,78	19,40	0,36	1,01	16,10	0,38	1,16	13,10	0,41	1,32	10,20	0,46	1,53	8,40	0,50	1,70	6,90	0,55	1,87
5,10	64,65	0,26	0,44	42,70	0,30	0,60	29,90	0,32	0,79	20,55	0,36	1,01	17,00	0,38	1,16	13,85	0,41	1,32	10,75	0,46	1,53	8,90	0,50	1,71	7,30	0,55	1,87
5,40	68,20	0,26	0,44	45,00	0,30	0,60	31,55	0,32	0,79	21,70	0,36	1,01	18,00	0,38	1,16	14,60	0,41	1,33	11,35	0,46	1,54	9,35	0,50	1,71	7,70	0,55	1,87
5,65	71,55	0,26	0,44	47,30	0,30	0,60	33,15	0,32	0,79	22,80	0,36	1,02	18,90	0,38	1,16	15,35	0,41	1,33	11,95	0,46	1,54	9,85	0,50	1,71	8,10	0,55	1,87
6,25	78,60	0,26	0,44	51,95	0,30	0,60	36,40	0,32	0,79	25,05	0,36	1,02	20,75	0,38	1,16	16,85	0,41	1,33	13,15	0,46	1,54	10,80	0,50	1,71	8,90	0,55	1,90
6,80	85,50	0,26	0,44	55,60	0,30	0,60	39,70	0,32	0,79	27,30	0,36	1,02	22,66	0,38	1,16	18,40	0,41	1,33	14,30	0,46	1,54	11,80	0,50	1,71	9,66	0,55	1,90
7,40	92,50	0,26	0,44	61,20	0,30	0,61	42,95	0,32	0,79	29,55	0,36	1,02	24,50	0,38	1,16	19,90	0,41	1,33	15,50	0,46	1,54	12,80	0,50	1,71	10,50	0,55	1,90
8,00	99,45	0,26	0,44	65,80	0,30	0,61	46,20	0,32	0,79	31,80	0,36	1,02	26,40	0,38	1,16	21,40	0,41	1,33	16,70	0,46	1,54	13,75	0,50	1,71	11,25	0,55	1,90
8,50	106,30	0,26	0,44	70,40	0,30	0,61	49,40	0,32	0,79	34,00	0,36	1,02	28,20	0,38	1,17	22,90	0,41	1,33	17,85	0,46	1,54	14,75	0,50	1,71	12,05	0,55	1,91

Tableau A-8.7

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE : 2,00 POURCENT

DÉBIT m³/s	V_0 : 0,68			V_0 : 0,75			V_0 : 0,90			V_0 : 1,05			V_0 : 1,20			V_0 : 1,35			V_0 : 1,50			V_0 : 1,65			V_0 : 1,80		
	T	D	V_0	T	D	V_0	T	D	V_0	T	D	V_0	T	D	V_0	T	D	V_0	T	D	V_0	T	D	V_0	T	D	V_0
0,40	6,35	0,25	0,40	3,90	0,28	0,60	2,85	0,30	0,72	2,05	0,35	0,87															
0,55	8,40	0,25	0,40	5,20	0,28	0,60	3,75	0,30	0,74	2,70	0,34	0,91	2,00	0,39	1,07	1,65	0,43	1,17									
0,70	10,50	0,25	0,40	6,50	0,28	0,60	4,70	0,30	0,74	3,35	0,34	0,92	2,45	0,38	1,12	2,05	0,42	1,21									
0,85	12,60	0,25	0,41	7,80	0,28	0,60	5,60	0,30	0,75	4,05	0,34	0,92	2,95	0,38	1,13	2,40	0,40	1,28	2,00	0,45	1,37						
1,00	14,65	0,25	0,41	9,05	0,28	0,60	6,55	0,30	0,74	4,65	0,33	0,94	3,40	0,37	1,16	2,80	0,40	1,29	2,30	0,44	1,42						
1,15	16,70	0,25	0,41	10,35	0,28	0,60	7,45	0,30	0,75	5,35	0,33	0,94	3,85	0,37	1,16	3,20	0,40	1,30	2,65	0,44	1,42	2,20	0,50	1,51			
1,30	18,75	0,25	0,41	11,60	0,28	0,60	8,40	0,30	0,75	6,00	0,33	0,95	4,35	0,37	1,16	3,60	0,40	1,30	2,95	0,43	1,46	2,45	0,49	1,57			
1,45	20,80	0,25	0,41	12,90	0,28	0,60	9,30	0,30	0,76	6,65	0,33	0,95	4,80	0,37	1,18	4,00	0,40	1,30	3,30	0,43	1,46	2,70	0,48	1,63	2,30	0,53	1,72
1,60	22,85	0,25	0,41	14,15	0,28	0,60	10,20	0,30	0,76	7,30	0,33	0,95	5,30	0,37	1,18	4,40	0,40	1,30	3,60	0,43	1,48	2,95	0,48	1,63	2,50	0,53	1,75
1,70	24,85	0,25	0,41	15,45	0,28	0,60	11,15	0,30	0,76	7,95	0,33	0,95	5,75	0,37	1,18	4,75	0,39	1,33	3,95	0,43	1,48	3,25	0,48	1,63	2,75	0,53	1,75
1,85	26,90	0,25	0,41	16,70	0,28	0,60	12,05	0,30	0,76	8,60	0,33	0,95	6,25	0,37	1,18	5,15	0,39	1,33	4,25	0,43	1,49	3,50	0,47	1,65	2,95	0,53	1,75
2,00	28,90	0,25	0,41	17,95	0,28	0,60	12,95	0,30	0,76	9,25	0,33	0,96	6,70	0,37	1,19	5,55	0,39	1,33	4,60	0,43	1,49	3,75	0,47	1,65	3,20	0,52	1,78
2,15	30,90	0,25	0,41	19,20	0,28	0,60	13,90	0,30	0,76	9,90	0,33	0,96	7,20	0,37	1,19	5,95	0,39	1,33	4,90	0,43	1,51	4,00	0,47	1,67	3,40	0,52	1,80
2,30	32,90	0,25	0,41	20,45	0,28	0,60	14,75	0,30	0,76	10,55	0,33	0,96	7,65	0,37	1,19	6,30	0,39	1,34	5,20	0,43	1,51	4,30	0,47	1,67	3,60	0,51	1,81
2,55	36,90	0,25	0,41	22,95	0,28	0,60	16,60	0,30	0,76	11,85	0,33	0,96	8,60	0,37	1,19	7,10	0,39	1,34	5,85	0,43	1,51	4,80	0,47	1,67	4,05	0,51	1,81
2,80	40,95	0,25	0,41	25,45	0,28	0,60	18,40	0,30	0,76	13,15	0,33	0,96	9,55	0,37	1,20	7,90	0,39	1,34	6,50	0,43	1,51	5,30	0,47	1,68	4,50	0,51	1,83
3,10	44,95	0,25	0,41	27,95	0,28	0,60	20,25	0,30	0,76	14,45	0,33	0,96	10,50	0,37	1,20	8,66	0,39	1,35	7,15	0,43	1,52	5,80	0,47	1,70	4,95	0,51	1,83
3,40	48,90	0,25	0,42	30,45	0,28	0,60	22,00	0,30	0,76	15,75	0,33	0,96	11,45	0,37	1,20	9,45	0,39	1,35	7,80	0,43	1,52	6,35	0,47	1,70	5,35	0,51	1,85
3,70	52,85	0,25	0,42	32,90	0,28	0,60	23,80	0,30	0,76	17,00	0,33	0,96	12,40	0,37	1,20	10,20	0,39	1,35	8,40	0,43	1,52	6,85	0,47	1,71	5,80	0,51	1,85
4,00	56,80	0,25	0,42	35,40	0,28	0,60	25,60	0,30	0,77	18,35	0,33	0,96	13,30	0,37	1,21	11,00	0,39	1,36	9,05	0,43	1,52	7,40	0,47	1,71	6,25	0,50	1,85
4,25	60,75	0,25	0,42	37,85	0,28	0,60	27,40	0,30	0,77	19,60	0,33	0,96	14,25	0,37	1,21	11,75	0,39	1,36	9,70	0,43	1,52	7,90	0,47	1,72	6,70	0,50	1,86
4,50	64,66	0,25	0,42	40,30	0,28	0,60	29,10	0,30	0,77	20,90	0,33	0,96	15,20	0,37	1,21	12,55	0,39	1,36	10,30	0,43	1,54	8,40	0,47	1,72	7,15	0,50	1,86
4,80	68,55	0,25	0,42	42,75	0,28	0,60	31,00	0,30	0,77	22,20	0,33	0,96	16,10	0,37	1,21	13,30	0,39	1,36	10,95	0,43	1,54	8,95	0,47	1,72	7,55	0,50	1,87
5,10	72,45	0,25	0,42	45,20	0,28	0,60	32,75	0,30	0,77	23,40	0,33	0,97	17,05	0,37	1,21	14,10	0,39	1,36	11,60	0,43	1,54	9,45	0,47	1,72	8,00	0,50	1,87
5,40	76,30	0,25	0,42	47,60	0,28	0,60	34,50	0,30	0,77	24,70	0,33	0,97	17,95	0,37	1,21	14,85	0,39	1,36	12,25	0,43	1,54	9,95	0,47	1,72	8,45	0,50	1,87
5,65	80,15	0,25	0,42	50,00	0,28	0,60	36,30	0,30	0,77	26,00	0,33	0,97	18,90	0,37	1,21	15,60	0,39	1,36	12,90	0,43	1,54	10,50	0,47	1,73	8,90	0,50	1,88
6,25	88,00	0,25	0,42	55,00	0,28	0,60	39,90	0,30	0,77	28,55	0,33	0,97	20,75	0,37	1,21	17,20	0,39	1,36	14,15	0,43	1,54	11,55	0,47	1,73	9,75	0,50	1,88
6,80	95,80	0,25	0,42	59,85	0,28	0,60	43,45	0,30	0,77	31,10	0,33	0,97	22,65	0,37	1,21	18,70	0,39	1,37	15,40	0,43	1,54	12,60	0,47	1,73	10,65	0,50	1,88
7,40	103,50	0,25	0,42	64,75	0,28	0,60	47,00	0,30	0,77	33,65	0,33	0,97	24,50	0,37	1,21	20,25	0,39	1,37	16,70	0,43	1,54	13,60	0,47	1,73	11,55	0,50	1,88
8,00	111,30	0,25	0,42	69,60	0,28	0,60	50,50	0,30	0,77	36,20	0,33	0,97	26,30	0,37	1,22	21,80	0,39	1,37	17,95	0,43	1,55	14,65	0,47	1,73	12,40	0,50	1,89
8,50	119,00	0,25	0,42	74,50	0,28	0,60	54,00	0,30	0,77	38,75	0,33	0,97	28,20	0,37	1,22	23,30	0,39	1,37	19,20	0,43	1,55	15,70	0,47	1,73	13,25	0,50	1,89

8-29

Tableau A-8.8

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V_1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE : 3,00 POURCENT

DEBITS m³/s	V_s : 0,60			V_s : 0,75			V_s : 0,90			V_s : 1,05			V_s : 1,20			V_s : 1,35			V_s : 1,50			V_s : 1,65			V_s : 1,80		
	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2
0,40	7,20	0,21	0,41	5,00	0,23	0,55	3,50	0,25	0,71	2,70	0,27	0,84	2,00	0,30	1,03	1,50	0,35	1,15									
0,55	9,60	0,21	0,41	6,60	0,23	0,55	4,65	0,25	0,71	3,60	0,27	0,85	2,60	0,30	1,06	2,00	0,34	1,20	1,80	0,36	1,27						
0,70	12,00	0,21	0,41	8,25	0,23	0,55	5,80	0,25	0,71	4,45	0,27	0,86	3,30	0,30	1,06	2,45	0,33	1,27	2,25	0,35	1,32	1,85	0,39	1,46			
0,85	14,30	0,21	0,41	9,90	0,23	0,55	6,90	0,25	0,72	5,30	0,27	0,88	3,95	0,30	1,06	2,95	0,33	1,29	2,65	0,35	1,35	2,15	0,38	1,53			
1,00	16,65	0,21	0,41	11,50	0,23	0,55	8,05	0,25	0,72	6,20	0,27	0,88	4,55	0,30	1,08	3,45	0,33	1,30	3,10	0,34	1,37	2,55	0,38	1,53	1,75	0,43	1,64
1,15	19,00	0,21	0,41	13,10	0,23	0,55	9,20	0,25	0,72	7,10	0,27	0,88	5,20	0,30	1,08	3,95	0,33	1,30	3,50	0,34	1,39	2,85	0,37	1,57	2,05	0,42	1,69
1,30	21,30	0,21	0,41	14,75	0,23	0,55	10,35	0,25	0,72	7,95	0,27	0,88	5,85	0,30	1,09	4,40	0,33	1,30	3,95	0,34	1,40	3,25	0,37	1,57	2,30	0,41	1,74
1,45	23,60	0,21	0,42	16,30	0,23	0,56	11,45	0,25	0,72	8,80	0,27	0,88	6,50	0,30	1,09	4,90	0,32	1,32	4,35	0,34	1,41	3,55	0,37	1,60	2,60	0,41	1,77
1,60	25,90	0,21	0,42	17,90	0,23	0,56	12,55	0,25	0,73	9,66	0,27	0,89	7,15	0,30	1,09	5,35	0,32	1,32	4,80	0,34	1,42	3,95	0,37	1,60	2,85	0,41	1,79
1,70	28,20	0,21	0,42	19,50	0,23	0,56	13,70	0,25	0,73	10,50	0,27	0,89	7,80	0,30	1,09	5,85	0,32	1,32	5,20	0,34	1,42	4,25	0,37	1,60	3,15	0,41	1,79
1,85	30,50	0,21	0,42	21,10	0,23	0,56	14,80	0,25	0,73	11,40	0,27	0,89	8,40	0,30	1,09	6,35	0,32	1,32	5,65	0,34	1,43	4,65	0,37	1,60	3,45	0,41	1,79
2,00	32,75	0,21	0,42	22,66	0,23	0,57	15,90	0,25	0,73	12,25	0,27	0,89	9,05	0,30	1,09	6,80	0,32	1,33	6,10	0,34	1,43	5,00	0,37	1,60	3,75	0,40	1,81
2,15	35,00	0,21	0,42	24,20	0,23	0,57	17,00	0,25	0,73	13,10	0,27	0,89	9,70	0,30	1,09	7,30	0,32	1,33	6,50	0,34	1,43	5,33	0,37	1,61	4,00	0,40	1,82
2,30	37,25	0,21	0,42	25,80	0,23	0,57	18,10	0,25	0,74	13,95	0,27	0,89	10,35	0,30	1,09	7,80	0,32	1,33	6,90	0,34	1,43	5,66	0,36	1,62	4,30	0,40	1,82
2,55	41,80	0,21	0,42	28,95	0,23	0,57	20,35	0,25	0,74	15,70	0,27	0,89	11,60	0,30	1,10	8,75	0,32	1,34	7,80	0,34	1,44	6,40	0,36	1,62	4,60	0,40	1,82
2,80	46,30	0,21	0,42	32,10	0,23	0,57	22,60	0,25	0,74	17,40	0,27	0,89	12,90	0,30	1,10	9,66	0,32	1,34	8,65	0,34	1,44	7,10	0,36	1,63	5,10	0,40	1,84
3,10	50,80	0,21	0,43	35,25	0,23	0,57	24,80	0,25	0,74	19,10	0,27	0,90	14,15	0,30	1,10	10,65	0,32	1,34	9,45	0,34	1,45	7,80	0,36	1,63	5,66	0,40	1,84
3,40	55,30	0,21	0,43	38,35	0,23	0,57	27,00	0,25	0,74	20,80	0,27	0,90	15,40	0,30	1,10	11,60	0,32	1,34	10,30	0,34	1,45	8,45	0,36	1,65	6,25	0,40	1,84
3,70	59,75	0,21	0,43	41,45	0,23	0,57	29,20	0,25	0,74	22,50	0,27	0,90	16,65	0,30	1,10	12,55	0,32	1,35	11,15	0,34	1,45	9,15	0,36	1,65	6,80	0,40	1,84
4,00	64,20	0,21	0,43	44,55	0,23	0,57	31,35	0,25	0,74	24,20	0,27	0,90	17,95	0,30	1,10	13,50	0,32	1,35	12,00	0,34	1,45	9,85	0,36	1,65	7,40	0,40	1,84
4,25	68,60	0,21	0,43	47,65	0,23	0,58	33,55	0,25	0,74	25,85	0,27	0,90	19,20	0,30	1,10	14,45	0,32	1,35	12,85	0,34	1,46	10,55	0,36	1,65	7,95	0,40	1,84
4,50	73,00	0,21	0,43	50,70	0,23	0,58	35,70	0,25	0,74	27,55	0,27	0,90	20,45	0,30	1,10	15,35	0,32	1,35	13,70	0,34	1,46	11,20	0,36	1,65	8,50	0,40	1,86
4,80	77,40	0,21	0,43	53,75	0,23	0,58	37,90	0,25	0,74	29,20	0,27	0,90	21,70	0,30	1,11	16,30	0,32	1,35	14,55	0,34	1,46	11,90	0,36	1,65	9,05	0,40	1,86
5,10	81,75	0,21	0,43	56,80	0,23	0,58	40,00	0,25	0,75	30,90	0,27	0,90	22,95	0,30	1,11	17,25	0,32	1,35	15,40	0,34	1,46	12,60	0,36	1,66	9,60	0,40	1,86
5,40	86,05	0,21	0,43	59,80	0,23	0,58	42,20	0,25	0,75	32,55	0,27	0,91	24,15	0,30	1,11	18,20	0,32	1,35	16,20	0,34	1,46	13,30	0,36	1,66	10,15	0,40	1,86
5,65	90,35	0,21	0,43	62,85	0,23	0,58	44,30	0,25	0,75	34,20	0,27	0,91	25,40	0,30	1,11	19,10	0,32	1,36	17,05	0,34	1,46	13,95	0,36	1,66	10,70	0,40	1,86
6,25	99,15	0,21	0,44	68,95	0,23	0,58	48,65	0,25	0,75	37,60	0,27	0,91	27,90	0,30	1,11	21,00	0,32	1,36	18,75	0,34	1,47	15,35	0,36	1,66	11,25	0,40	1,86
6,80	107,90	0,21	0,44	75,10	0,23	0,58	53,00	0,25	0,75	40,95	0,27	0,91	30,40	0,30	1,11	22,90	0,32	1,36	20,40	0,34	1,47	16,75	0,36	1,66	12,40	0,40	1,86
7,40	116,60	0,21	0,44	81,15	0,23	0,58	57,30	0,25	0,75	44,25	0,27	0,91	32,90	0,30	1,12	24,80	0,32	1,36	22,10	0,34	1,47	18,10	0,36	1,66	13,50	0,40	1,88
8,00	125,30	0,21	0,44	87,25	0,23	0,58	61,60	0,25	0,75	47,60	0,27	0,91	35,40	0,30	1,12	26,66	0,32	1,36	23,75	0,34	1,47	19,50	0,36	1,66	14,60	0,40	1,88
8,50	133,90	0,21	0,44	93,25	0,23	0,58	65,85	0,25	0,76	50,90	0,27	0,91	37,85	0,30	1,12	28,55	0,32	1,36	25,40	0,34	1,47	20,85	0,36	1,66	15,70	0,40	1,88
																									16,80	0,40	1,88

Tableau A-8.9

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE : 4,00 POURCENT

DEBITS m³/s	V1 : 0,60			V1 : 0,75			V1 : 0,90			V1 : 1,05			V1 : 1,20			V1 : 1,35			V1 : 1,50			V1 : 1,65			V1 : 1,80		
	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2	T	D	V2
0,40	8,50	0,19	0,39	6,85	0,20	0,51	4,25	0,22	0,67	3,15	0,24	0,83	2,40	0,25	1,00	1,95	0,28	1,15	1,50	0,32	1,28						
0,55	11,30	0,19	0,39	8,10	0,20	0,51	5,65	0,22	0,67	4,20	0,23	0,84	3,20	0,25	1,01	2,55	0,28	1,16	1,95	0,31	1,38	1,70	0,33	1,49			
0,70	14,10	0,19	0,40	10,05	0,20	0,52	7,00	0,22	0,68	5,20	0,23	0,84	4,00	0,25	1,02	3,20	0,28	1,16	2,45	0,31	1,39	2,10	0,32	1,54	1,75	0,37	1,63
0,85	16,90	0,19	0,40	12,05	0,20	0,52	8,40	0,22	0,68	6,20	0,23	0,86	4,80	0,25	1,02	3,80	0,28	1,19	2,90	0,30	1,43	2,50	0,32	1,54	2,05	0,35	1,74
1,00	19,60	0,19	0,40	14,05	0,20	0,52	9,80	0,22	0,68	7,25	0,23	0,86	5,60	0,25	1,03	4,45	0,28	1,19	3,40	0,30	1,43	2,90	0,32	1,57	2,40	0,35	1,76
1,15	22,35	0,19	0,40	16,00	0,20	0,52	11,15	0,22	0,68	8,25	0,23	0,86	6,35	0,25	1,04	5,05	0,28	1,20	3,90	0,30	1,43	3,30	0,32	1,57	2,70	0,35	1,77
1,30	25,10	0,19	0,40	17,95	0,20	0,52	12,55	0,22	0,69	9,25	0,23	0,87	7,15	0,25	1,04	5,70	0,28	1,20	4,35	0,30	1,44	3,70	0,32	1,57	3,05	0,35	1,78
1,45	27,80	0,19	0,40	19,90	0,20	0,52	13,90	0,22	0,69	10,30	0,23	0,87	7,95	0,25	1,04	6,30	0,28	1,20	4,80	0,30	1,44	4,10	0,32	1,60	3,40	0,35	1,78
1,60	30,50	0,19	0,40	21,80	0,20	0,53	15,30	0,22	0,69	11,30	0,23	0,87	8,70	0,25	1,05	6,95	0,28	1,20	5,30	0,30	1,46	4,50	0,32	1,61	3,75	0,35	1,79
1,70	33,15	0,19	0,40	23,70	0,20	0,53	16,60	0,22	0,69	12,30	0,23	0,87	9,45	0,25	1,05	7,55	0,28	1,20	5,75	0,30	1,46	4,90	0,32	1,62	4,05	0,35	1,79
1,85	35,80	0,19	0,40	25,65	0,20	0,53	17,95	0,22	0,69	13,30	0,23	0,87	10,25	0,25	1,05	8,20	0,28	1,21	6,25	0,30	1,46	5,33	0,32	1,62	4,35	0,34	1,83
2,00	38,45	0,19	0,40	27,55	0,20	0,53	19,30	0,22	0,69	14,30	0,23	0,87	11,00	0,25	1,05	8,80	0,28	1,21	6,66	0,30	1,47	5,75	0,32	1,62	4,70	0,34	1,83
2,15	41,10	0,19	0,40	29,45	0,20	0,53	20,65	0,22	0,69	15,30	0,23	0,88	11,80	0,25	1,05	9,40	0,28	1,21	7,15	0,30	1,47	6,15	0,32	1,62	5,00	0,34	1,83
2,30	43,70	0,19	0,41	31,33	0,20	0,53	22,00	0,22	0,69	16,25	0,23	0,88	12,55	0,25	1,05	10,00	0,28	1,21	7,60	0,30	1,47	6,55	0,32	1,62	5,40	0,34	1,83
2,55	49,05	0,19	0,41	35,15	0,20	0,53	24,66	0,22	0,69	18,25	0,23	0,88	14,10	0,25	1,05	11,25	0,28	1,22	8,60	0,30	1,48	7,30	0,32	1,63	6,00	0,34	1,84
2,80	54,35	0,19	0,41	38,95	0,20	0,53	27,35	0,22	0,70	20,25	0,23	0,88	15,60	0,25	1,06	12,50	0,28	1,22	9,50	0,30	1,48	8,15	0,32	1,63	6,66	0,34	1,84
3,10	59,60	0,19	0,41	42,75	0,20	0,53	30,00	0,22	0,70	22,25	0,23	0,88	17,15	0,25	1,06	13,75	0,28	1,22	10,50	0,30	1,48	8,95	0,32	1,63	7,35	0,34	1,84
3,40	64,85	0,19	0,41	46,50	0,20	0,53	32,70	0,22	0,70	24,20	0,23	0,88	18,66	0,25	1,06	14,95	0,28	1,23	11,40	0,30	1,49	9,75	0,32	1,63	8,00	0,34	1,84
3,70	70,00	0,19	0,41	50,25	0,20	0,53	35,35	0,22	0,70	26,20	0,23	0,89	20,20	0,25	1,06	16,15	0,28	1,23	12,30	0,30	1,49	10,55	0,32	1,63	8,66	0,34	1,84
4,00	75,20	0,19	0,41	54,00	0,20	0,54	38,00	0,22	0,70	28,15	0,23	0,89	21,70	0,25	1,06	17,40	0,28	1,23	13,25	0,30	1,49	11,35	0,32	1,63	9,30	0,34	1,84
4,25	80,35	0,19	0,41	57,65	0,20	0,54	40,60	0,22	0,70	30,10	0,23	0,89	23,25	0,25	1,06	18,60	0,28	1,23	14,20	0,30	1,49	12,15	0,32	1,64	9,95	0,34	1,84
4,50	85,50	0,19	0,41	61,35	0,20	0,54	43,20	0,22	0,70	32,05	0,23	0,89	24,75	0,25	1,06	19,80	0,28	1,23	15,10	0,30	1,49	12,95	0,32	1,64	10,60	0,34	1,86
4,80	90,55	0,19	0,42	65,00	0,20	0,54	45,85	0,22	0,70	34,00	0,23	0,89	26,25	0,25	1,07	21,00	0,28	1,23	16,00	0,30	1,49	13,75	0,32	1,64	11,25	0,34	1,86
5,10	95,60	0,19	0,42	68,70	0,20	0,54	48,45	0,22	0,71	35,95	0,23	0,89	27,75	0,25	1,07	22,25	0,28	1,23	16,95	0,30	1,49	14,50	0,32	1,64	11,99	0,34	1,86
5,40	100,65	0,19	0,42	72,35	0,20	0,54	51,00	0,22	0,71	37,90	0,23	0,89	29,20	0,25	1,07	23,40	0,28	1,24	17,90	0,30	1,49	15,30	0,32	1,64	12,55	0,34	1,86
5,65	105,65	0,19	0,42	76,00	0,20	0,54	53,60	0,22	0,71	39,80	0,23	0,89	30,70	0,25	1,07	24,60	0,28	1,24	18,80	0,30	1,50	16,10	0,32	1,66	13,20	0,34	1,86
6,25	115,90	0,19	0,42	83,35	0,20	0,54	58,85	0,22	0,71	43,70	0,23	0,89	33,75	0,25	1,07	27,00	0,28	1,24	20,60	0,30	1,50	17,66	0,32	1,66	14,50	0,34	1,86
6,80	126,00	0,19	0,42	90,70	0,20	0,55	64,00	0,22	0,71	47,60	0,23	0,90	36,75	0,25	1,07	29,50	0,28	1,24	22,50	0,30	1,50	19,25	0,32	1,66	15,80	0,34	1,86
7,40	136,20	0,19	0,42	98,00	0,20	0,55	69,25	0,22	0,71	51,45	0,23	0,90	39,70	0,25	1,08	31,90	0,28	1,24	24,30	0,30	1,50	20,85	0,32	1,66	17,15	0,34	1,86
8,00	146,25	0,19	0,42	105,30	0,20	0,55	74,40	0,22	0,71	55,30	0,23	0,90	42,70	0,25	1,08	34,25	0,28	1,24	26,20	0,30	1,50	22,40	0,32	1,66	18,40	0,34	1,86
8,50	156,25	0,19	0,42	112,50	0,20	0,55	79,55	0,22	0,71	59,15	0,23	0,90	45,70	0,25	1,08	36,66	0,28	1,25	28,00	0,30	1,50	24,00	0,32	1,66	19,75	0,34	1,86

8-31

Tableau A-8.10

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE : 5,00 POURCENT

DEBITS m³/s	V_1 : 0,60			V_1 : 0,75			V_1 : 0,90			V_1 : 1,05			V_1 : 1,20			V_1 : 1,35			V_1 : 1,50			V_1 : 1,65			V_1 : 1,80		
	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2
0,40	8,95	0,17	0,40	6,45	0,18	0,53	4,60	0,20	0,68	3,75	0,21	0,79	2,75	0,23	0,99	2,20	0,25	1,13	1,75	0,28	1,25	1,40	0,30	1,47			
0,55	11,90	0,17	0,40	8,60	0,18	0,53	6,10	0,20	0,69	4,95	0,21	0,80	3,66	0,23	0,99	2,90	0,25	1,17	2,30	0,27	1,32	1,85	0,29	1,51	1,65	0,32	1,59
0,70	14,80	0,17	0,40	10,70	0,18	0,53	7,55	0,20	0,69	6,20	0,21	0,80	4,60	0,23	0,99	3,65	0,25	1,17	2,90	0,27	1,33	2,35	0,29	1,53	2,00	0,31	1,69
0,85	17,75	0,17	0,40	12,80	0,18	0,53	9,05	0,20	0,69	7,40	0,21	0,80	5,50	0,23	0,99	4,33	0,25	1,18	3,45	0,26	1,36	2,80	0,29	1,55	2,40	0,31	1,70
1,00	20,60	0,17	0,41	14,90	0,18	0,53	10,55	0,20	0,69	8,60	0,21	0,80	6,40	0,23	1,00	5,10	0,25	1,18	4,00	0,26	1,36	3,20	0,28	1,60	2,80	0,31	1,70
1,15	23,50	0,17	0,41	17,00	0,18	0,53	12,05	0,20	0,69	9,80	0,21	0,80	7,30	0,23	1,00	5,75	0,25	1,18	4,60	0,26	1,36	3,66	0,28	1,60	3,15	0,30	1,70
1,30	26,25	0,17	0,41	19,05	0,18	0,53	13,50	0,20	0,70	11,00	0,21	0,80	8,20	0,23	1,00	6,50	0,25	1,18	5,15	0,26	1,37	4,10	0,28	1,60	3,55	0,30	1,75
1,45	29,20	0,17	0,41	21,10	0,18	0,53	15,00	0,20	0,70	12,25	0,21	0,80	9,05	0,23	1,01	7,20	0,25	1,18	5,75	0,26	1,37	4,60	0,28	1,60	3,95	0,30	1,75
1,60	32,00	0,17	0,41	23,15	0,18	0,54	16,45	0,20	0,70	13,40	0,21	0,80	9,95	0,23	1,01	7,90	0,25	1,19	6,30	0,26	1,38	5,00	0,28	1,60	4,30	0,30	1,76
1,70	34,85	0,17	0,41	25,20	0,18	0,54	17,90	0,20	0,70	14,60	0,21	0,81	10,85	0,23	1,01	8,60	0,25	1,19	6,80	0,26	1,38	5,45	0,28	1,61	4,70	0,30	1,76
1,85	37,65	0,17	0,41	27,25	0,18	0,54	19,33	0,20	0,70	15,80	0,21	0,81	11,70	0,23	1,02	9,30	0,25	1,19	7,40	0,26	1,38	5,90	0,28	1,61	5,10	0,30	1,76
2,00	40,40	0,17	0,42	29,25	0,18	0,54	20,80	0,20	0,70	16,95	0,21	0,81	12,60	0,23	1,02	10,00	0,25	1,20	7,95	0,26	1,39	6,35	0,28	1,62	5,45	0,30	1,78
2,15	43,15	0,17	0,42	31,25	0,18	0,54	22,25	0,20	0,70	18,10	0,21	0,81	13,45	0,23	1,02	10,70	0,25	1,20	8,50	0,26	1,39	6,80	0,28	1,62	5,85	0,30	1,78
2,30	45,90	0,17	0,42	33,25	0,18	0,54	23,65	0,20	0,70	19,30	0,21	0,81	14,33	0,23	1,02	11,40	0,25	1,20	9,05	0,26	1,40	7,25	0,28	1,62	6,20	0,30	1,79
2,55	51,50	0,17	0,42	37,30	0,18	0,54	26,55	0,20	0,71	21,65	0,21	0,82	16,10	0,23	1,02	12,80	0,25	1,20	10,20	0,26	1,40	8,15	0,28	1,62	7,00	0,30	1,79
2,80	57,00	0,17	0,42	41,33	0,18	0,54	29,45	0,20	0,71	24,00	0,21	0,82	17,85	0,23	1,03	14,20	0,25	1,21	11,30	0,26	1,40	9,00	0,28	1,64	7,80	0,30	1,79
3,10	62,55	0,17	0,42	45,35	0,18	0,54	32,30	0,20	0,71	25,35	0,21	0,82	19,60	0,23	1,03	15,60	0,25	1,20	12,40	0,26	1,40	9,90	0,28	1,64	8,55	0,30	1,79
3,40	68,05	0,17	0,42	49,35	0,18	0,54	35,15	0,20	0,71	28,70	0,21	0,82	21,35	0,23	1,03	17,00	0,25	1,20	13,50	0,26	1,40	10,80	0,28	1,65	9,30	0,30	1,79
3,70	73,50	0,17	0,42	53,30	0,18	0,54	38,00	0,20	0,71	31,00	0,21	0,82	23,10	0,23	1,03	18,35	0,25	1,21	14,60	0,26	1,41	11,70	0,28	1,65	10,00	0,30	1,80
4,00	78,90	0,17	0,43	57,25	0,18	0,55	40,85	0,20	0,71	33,33	0,21	0,82	24,80	0,23	1,03	19,75	0,25	1,21	15,70	0,26	1,41	12,55	0,28	1,65	10,85	0,30	1,80
4,25	84,30	0,17	0,43	61,20	0,18	0,55	43,65	0,20	0,71	35,60	0,21	0,83	26,50	0,23	1,03	21,15	0,25	1,21	16,80	0,26	1,42	13,45	0,28	1,65	11,55	0,30	1,81
4,50	89,65	0,17	0,43	65,10	0,18	0,55	46,46	0,20	0,71	37,90	0,21	0,83	28,25	0,23	1,03	22,50	0,25	1,21	17,90	0,26	1,42	14,33	0,28	1,65	12,30	0,30	1,81
4,80	95,00	0,17	0,43	69,00	0,18	0,55	49,25	0,20	0,71	40,20	0,21	0,83	29,95	0,23	1,04	23,85	0,25	1,21	19,00	0,26	1,42	15,20	0,28	1,65	13,10	0,30	1,81
5,10	100,25	0,17	0,43	72,85	0,18	0,55	52,00	0,20	0,72	42,45	0,21	0,83	31,66	0,23	1,04	25,20	0,25	1,21	20,10	0,26	1,42	16,10	0,28	1,66	13,85	0,30	1,81
5,40	105,50	0,17	0,43	76,66	0,18	0,56	54,80	0,20	0,72	44,70	0,21	0,83	33,35	0,23	1,04	26,55	0,25	1,22	21,15	0,26	1,42	16,95	0,28	1,66	14,60	0,30	1,81
5,65	110,75	0,17	0,43	80,50	0,18	0,56	57,55	0,20	0,72	47,00	0,21	0,83	35,05	0,23	1,04	27,95	0,25	1,22	22,25	0,26	1,42	17,80	0,28	1,66	15,35	0,30	1,81
6,25	121,50	0,17	0,43	88,33	0,18	0,56	63,15	0,20	0,72	51,55	0,21	0,84	38,50	0,23	1,04	30,70	0,25	1,22	24,45	0,26	1,42	19,60	0,28	1,66	16,85	0,30	1,82
6,80	132,10	0,17	0,43	96,10	0,18	0,56	68,75	0,20	0,72	56,10	0,21	0,84	41,80	0,23	1,04	33,40	0,25	1,22	26,60	0,26	1,42	21,30	0,28	1,66	18,35	0,30	1,82
7,40	142,70	0,17	0,43	103,80	0,18	0,56	74,30	0,20	0,72	60,66	0,21	0,84	45,30	0,23	1,05	36,15	0,25	1,22	28,80	0,26	1,43	23,05	0,28	1,66	19,85	0,30	1,82
8,00	153,25	0,17	0,43	111,50	0,18	0,56	79,85	0,20	0,72	65,20	0,21	0,84	48,70	0,23	1,05	38,85	0,25	1,22	30,95	0,26	1,43	24,80	0,28	1,66	21,35	0,30	1,83
8,50	163,70	0,17	0,43	119,20	0,18	0,56	85,40	0,20	0,72	69,70	0,21	0,84	52,00	0,23	1,05	41,55	0,25	1,23	33,10	0,26	1,43	26,55	0,28	1,67	22,85	0,30	1,83

Tableau A-8.11

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V2 pour retardance "C"

PENTE 6,00 POURCENT

DEBITS m³/s	V_1 : 0,60			V_1 : 0,75			V_1 : 0,90			V_1 : 1,05			V_1 : 1,20			V_1 : 1,35			V_1 : 1,50			V_1 : 1,65			V_1 : 1,80		
	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2
0,40	10,55	0,16	0,37	6,90	0,17	0,52	5,05	0,19	0,67	3,85	0,20	0,82	3,05	0,21	0,96	2,50	0,23	1,09	2,00	0,25	1,23	1,65	0,27	1,40	1,30	0,30	1,58
0,55	14,00	0,16	0,37	9,15	0,17	0,53	6,75	0,19	0,67	5,15	0,20	0,82	4,05	0,21	0,99	3,25	0,22	1,13	2,65	0,24	1,29	2,15	0,27	1,46	1,75	0,29	1,63
0,70	17,45	0,16	0,37	11,40	0,17	0,53	8,40	0,19	0,67	6,40	0,20	0,82	5,05	0,21	0,99	4,05	0,22	1,14	3,30	0,24	1,31	2,65	0,26	1,49	2,15	0,28	1,73
0,85	20,90	0,16	0,37	13,65	0,17	0,53	10,05	0,19	0,68	7,65	0,20	0,82	6,05	0,21	0,99	4,90	0,22	1,14	4,00	0,24	1,31	3,20	0,26	1,51	2,55	0,28	1,74
1,00	24,30	0,16	0,38	15,85	0,17	0,53	11,70	0,19	0,68	8,90	0,20	0,82	7,00	0,21	1,00	5,70	0,22	1,14	4,60	0,24	1,32	3,70	0,26	1,53	3,00	0,28	1,74
1,15	27,65	0,16	0,38	18,10	0,17	0,53	13,35	0,19	0,68	10,15	0,20	0,83	8,00	0,21	1,00	6,50	0,22	1,16	5,25	0,24	1,32	4,20	0,26	1,54	3,40	0,28	1,74
1,30	31,00	0,16	0,38	20,30	0,17	0,53	15,00	0,19	0,68	11,40	0,20	0,83	9,00	0,21	1,00	7,25	0,22	1,16	5,90	0,24	1,32	4,75	0,26	1,54	3,80	0,28	1,78
1,45	34,30	0,16	0,38	22,45	0,17	0,54	16,60	0,19	0,68	12,65	0,20	0,83	10,00	0,21	1,00	8,05	0,22	1,16	6,55	0,24	1,32	5,25	0,26	1,54	4,25	0,28	1,78
1,60	37,60	0,16	0,38	24,65	0,17	0,54	18,20	0,19	0,68	13,90	0,20	0,83	10,95	0,21	1,00	8,85	0,22	1,16	7,20	0,24	1,33	5,75	0,26	1,57	4,70	0,28	1,78
1,70	40,90	0,16	0,38	26,80	0,17	0,54	19,80	0,19	0,68	15,10	0,20	0,83	11,95	0,21	1,00	9,65	0,22	1,16	7,85	0,24	1,33	6,25	0,26	1,57	5,05	0,28	1,79
1,85	44,10	0,16	0,38	28,95	0,17	0,54	21,40	0,19	0,69	16,30	0,20	0,84	12,90	0,21	1,01	10,40	0,22	1,17	8,50	0,24	1,33	6,75	0,26	1,57	5,50	0,28	1,79
2,00	47,35	0,16	0,38	31,10	0,17	0,54	23,00	0,19	0,69	17,50	0,20	0,84	13,85	0,21	1,01	11,20	0,22	1,17	9,15	0,24	1,33	7,30	0,26	1,57	5,90	0,28	1,80
2,15	50,60	0,16	0,38	33,20	0,17	0,55	24,60	0,19	0,69	18,75	0,20	0,84	14,80	0,21	1,01	12,00	0,22	1,17	9,75	0,24	1,35	7,80	0,26	1,57	6,30	0,28	1,80
2,30	53,80	0,16	0,38	35,30	0,17	0,55	26,20	0,19	0,69	19,95	0,20	0,84	15,75	0,21	1,01	12,75	0,22	1,17	10,40	0,24	1,35	8,30	0,26	1,57	6,70	0,28	1,80
2,55	60,30	0,16	0,39	39,60	0,17	0,55	29,35	0,19	0,69	22,40	0,20	0,84	17,70	0,21	1,01	14,30	0,22	1,18	11,65	0,24	1,35	9,30	0,26	1,58	7,55	0,28	1,80
2,80	66,75	0,16	0,39	43,85	0,17	0,55	32,50	0,19	0,69	24,85	0,20	0,84	19,60	0,21	1,02	15,85	0,22	1,18	12,95	0,24	1,35	10,35	0,26	1,58	8,40	0,28	1,80
3,10	73,20	0,16	0,39	48,10	0,17	0,55	35,70	0,19	0,69	27,25	0,20	0,85	21,55	0,21	1,02	17,40	0,22	1,18	14,20	0,24	1,36	11,35	0,26	1,58	9,20	0,28	1,82
3,40	79,55	0,16	0,39	52,30	0,17	0,55	38,80	0,19	0,70	29,65	0,20	0,85	23,45	0,21	1,02	19,00	0,22	1,18	15,45	0,24	1,36	12,35	0,26	1,59	10,00	0,28	1,82
3,70	85,85	0,16	0,39	56,50	0,17	0,55	42,00	0,19	0,70	32,05	0,20	0,85	25,35	0,21	1,02	20,50	0,22	1,19	16,70	0,24	1,36	13,35	0,26	1,59	10,85	0,28	1,82
4,00	92,15	0,16	0,39	60,70	0,17	0,56	45,10	0,19	0,70	34,45	0,20	0,85	27,25	0,21	1,02	22,05	0,22	1,19	18,00	0,24	1,36	14,35	0,26	1,59	11,70	0,28	1,82
4,25	98,40	0,16	0,39	64,85	0,17	0,56	48,15	0,19	0,70	36,80	0,20	0,85	29,15	0,21	1,03	23,60	0,22	1,19	19,20	0,24	1,36	15,40	0,26	1,59	12,50	0,28	1,83
4,50	104,60	0,16	0,39	69,00	0,17	0,56	51,25	0,19	0,70	39,20	0,20	0,85	31,00	0,21	1,03	25,10	0,22	1,19	20,45	0,24	1,36	16,40	0,26	1,59	13,30	0,28	1,83
4,80	110,75	0,16	0,40	73,10	0,17	0,56	54,30	0,19	0,71	41,55	0,20	0,86	32,90	0,21	1,03	26,60	0,22	1,19	21,70	0,24	1,36	17,35	0,26	1,60	14,15	0,28	1,83
5,10	116,85	0,16	0,40	77,15	0,17	0,56	57,35	0,19	0,71	43,90	0,20	0,86	34,75	0,21	1,03	28,15	0,22	1,20	22,95	0,24	1,37	18,35	0,26	1,60	14,90	0,28	1,83
5,40	122,90	0,16	0,40	81,25	0,17	0,56	60,35	0,19	0,71	46,20	0,20	0,86	36,60	0,21	1,03	29,60	0,22	1,20	24,20	0,24	1,37	19,33	0,26	1,60	15,75	0,28	1,83
5,65	128,90	0,16	0,40	85,25	0,17	0,56	63,40	0,19	0,71	48,50	0,20	0,86	38,50	0,21	1,03	31,10	0,22	1,20	25,40	0,24	1,37	20,35	0,26	1,60	16,55	0,28	1,83
6,25	141,30	0,16	0,40	93,50	0,17	0,56	69,55	0,19	0,71	53,25	0,20	0,86	42,20	0,21	1,03	34,15	0,22	1,20	27,90	0,24	1,37	22,33	0,26	1,60	18,20	0,28	1,83
6,80	153,60	0,16	0,40	101,75	0,17	0,56	75,70	0,19	0,71	58,00	0,20	0,86	46,00	0,21	1,04	37,20	0,22	1,20	30,40	0,24	1,37	24,33	0,26	1,60	19,80	0,28	1,84
7,40	165,80	0,16	0,40	110,00	0,17	0,56	81,80	0,19	0,71	62,65	0,20	0,87	49,70	0,21	1,04	40,25	0,22	1,20	32,90	0,24	1,38	26,33	0,26	1,60	21,40	0,28	1,84
8,00	178,00	0,16	0,40	118,00	0,17	0,57	87,80	0,19	0,72	67,30	0,20	0,87	53,40	0,21	1,04	43,25	0,22	1,20	35,35	0,24	1,38	28,30	0,26	1,61	23,00	0,28	1,84
8,50	190,00	0,16	0,40	126,00	0,17	0,57	93,85	0,19	0,72	72,00	0,20	0,87	57,00	0,21	1,04	46,25	0,22	1,21	37,80	0,24	1,38	30,30	0,26	1,61	24,65	0,28	1,85

8-133

Tableau A-8.12

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V_1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V_2 pour retardance "C"

PENTE : 8,00 POURCENT

DEBITS m^3/s	V_1 : 0,60			V_1 : 0,75			V_1 : 0,90			V_1 : 1,05			V_1 : 1,20			V_1 : 1,35			V_1 : 1,50			V_1 : 1,65			V_1 : 1,80		
	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2	T	D	V_2
0,40	11,30	0,14	0,38	8,10	0,15	0,50	5,70	0,16	0,67	4,70	0,17	0,77	3,60	0,19	0,94	2,90	0,20	1,10	2,40	0,21	1,22	1,95	0,22	1,40	1,60	0,25	1,58
0,55	15,00	0,14	0,38	10,80	0,15	0,51	7,60	0,16	0,67	6,25	0,17	0,77	4,75	0,19	0,94	3,80	0,20	1,11	3,20	0,21	1,27	2,60	0,22	1,43	2,15	0,25	1,57
0,70	18,70	0,14	0,39	13,45	0,15	0,51	9,45	0,16	0,67	7,75	0,17	0,78	5,95	0,19	0,95	4,75	0,20	1,12	4,00	0,21	1,27	3,25	0,22	1,45	2,70	0,24	1,62
0,85	22,33	0,14	0,39	16,05	0,15	0,51	11,35	0,16	0,67	9,30	0,17	0,78	7,10	0,19	0,95	5,70	0,20	1,12	4,75	0,21	1,27	3,90	0,22	1,45	3,20	0,24	1,65
1,00	25,95	0,14	0,39	18,70	0,15	0,51	13,20	0,16	0,67	10,80	0,17	0,79	8,25	0,19	0,95	6,65	0,20	1,13	5,55	0,21	1,28	4,50	0,22	1,46	3,75	0,23	1,67
1,15	29,55	0,14	0,39	21,25	0,15	0,51	15,05	0,16	0,67	12,30	0,17	0,79	9,45	0,19	0,95	7,55	0,20	1,13	6,30	0,21	1,28	5,15	0,22	1,46	4,25	0,23	1,68
1,30	33,15	0,14	0,39	23,85	0,15	0,51	16,90	0,16	0,68	13,80	0,17	0,79	10,55	0,19	0,96	8,50	0,20	1,14	7,10	0,21	1,29	5,80	0,22	1,46	4,80	0,23	1,68
1,45	36,66	0,15	0,39	26,40	0,15	0,51	18,70	0,16	0,68	15,25	0,17	0,80	11,70	0,19	0,96	9,40	0,20	1,14	7,90	0,21	1,29	6,40	0,22	1,47	5,30	0,23	1,68
1,60	40,20	0,15	0,40	28,95	0,15	0,52	20,50	0,16	0,68	16,75	0,17	0,80	12,85	0,19	0,96	10,35	0,20	1,14	8,65	0,21	1,29	7,05	0,22	1,47	5,85	0,23	1,68
1,70	43,70	0,15	0,40	31,45	0,15	0,52	22,25	0,16	0,68	18,20	0,17	0,80	14,00	0,19	0,96	11,25	0,20	1,14	9,40	0,21	1,29	7,65	0,22	1,48	6,35	0,23	1,68
1,85	47,15	0,15	0,40	34,00	0,15	0,52	24,05	0,16	0,68	19,70	0,17	0,80	15,15	0,19	0,96	12,20	0,20	1,14	10,15	0,21	1,30	8,30	0,22	1,48	6,85	0,23	1,68
2,00	50,60	0,15	0,40	36,45	0,15	0,52	25,85	0,16	0,69	21,15	0,17	0,80	16,25	0,19	0,97	13,05	0,20	1,15	10,95	0,21	1,30	8,90	0,22	1,49	7,35	0,23	1,70
2,15	54,00	0,15	0,40	38,90	0,15	0,52	27,60	0,16	0,69	22,60	0,17	0,80	17,35	0,19	0,97	14,00	0,20	1,15	11,65	0,21	1,31	9,50	0,22	1,49	7,90	0,23	1,70
2,30	57,40	0,15	0,40	41,35	0,15	0,52	29,35	0,16	0,69	24,05	0,17	0,80	18,45	0,19	0,98	14,85	0,20	1,15	12,40	0,21	1,31	10,15	0,22	1,49	8,40	0,23	1,70
2,55	64,25	0,15	0,40	46,40	0,15	0,53	32,95	0,17	0,69	27,00	0,17	0,81	20,70	0,19	0,98	16,70	0,20	1,15	13,95	0,21	1,31	11,40	0,22	1,49	9,45	0,23	1,70
2,80	71,25	0,15	0,40	51,35	0,15	0,53	36,50	0,17	0,69	29,90	0,17	0,81	23,00	0,19	0,98	18,50	0,20	1,15	15,45	0,21	1,32	12,65	0,22	1,50	10,45	0,23	1,72
3,10	78,00	0,15	0,41	56,30	0,15	0,53	40,00	0,17	0,69	32,80	0,17	0,81	25,20	0,19	0,98	20,30	0,20	1,16	17,00	0,21	1,32	13,90	0,22	1,50	11,50	0,23	1,72
3,40	84,80	0,15	0,41	61,20	0,15	0,53	43,50	0,17	0,69	35,65	0,17	0,81	27,40	0,19	0,98	22,10	0,20	1,16	18,45	0,21	1,32	15,10	0,22	1,50	12,50	0,23	1,72
3,70	91,50	0,15	0,41	66,00	0,15	0,53	47,00	0,17	0,70	38,55	0,17	0,81	29,60	0,19	0,98	23,90	0,20	1,16	19,95	0,21	1,32	16,35	0,22	1,50	13,50	0,23	1,72
4,00	98,25	0,15	0,41	70,90	0,15	0,54	50,50	0,17	0,70	41,40	0,17	0,81	31,85	0,19	0,98	25,70	0,20	1,16	21,45	0,21	1,32	17,60	0,22	1,50	14,50	0,23	1,72
4,25	104,90	0,15	0,41	75,75	0,15	0,54	53,90	0,17	0,70	44,25	0,17	0,82	34,00	0,19	0,99	27,45	0,20	1,16	22,95	0,21	1,33	18,80	0,22	1,50	15,50	0,23	1,73
4,50	111,50	0,15	0,41	80,50	0,15	0,54	57,40	0,17	0,70	47,10	0,17	0,82	36,20	0,19	0,99	29,25	0,20	1,16	24,40	0,21	1,33	20,00	0,22	1,50	16,55	0,23	1,73
4,80	118,00	0,15	0,41	85,30	0,15	0,54	60,80	0,17	0,70	49,90	0,17	0,82	38,40	0,19	0,99	31,00	0,20	1,16	25,90	0,21	1,33	21,20	0,22	1,51	17,55	0,23	1,73
5,10	124,50	0,15	0,41	90,00	0,15	0,54	64,20	0,17	0,70	52,70	0,17	0,82	40,50	0,19	1,00	32,75	0,20	1,17	27,40	0,21	1,33	22,40	0,22	1,51	18,55	0,23	1,73
5,40	130,90	0,15	0,41	94,70	0,15	0,54	67,55	0,17	0,71	55,45	0,17	0,82	42,70	0,19	1,00	34,50	0,20	1,17	28,80	0,21	1,34	23,60	0,22	1,51	19,50	0,23	1,74
5,65	137,30	0,15	0,41	99,35	0,15	0,54	70,90	0,17	0,71	58,20	0,17	0,83	44,80	0,19	1,00	36,20	0,20	1,17	30,25	0,21	1,34	24,80	0,22	1,51	20,50	0,23	1,74
6,25	150,50	0,15	0,42	108,90	0,15	0,55	77,75	0,17	0,71	63,90	0,18	0,83	49,15	0,19	1,00	39,75	0,20	1,17	33,20	0,21	1,34	27,25	0,22	1,52	22,55	0,23	1,74
6,80	163,50	0,15	0,42	118,40	0,15	0,55	84,60	0,17	0,71	69,50	0,18	0,83	53,50	0,19	1,00	43,25	0,20	1,18	36,20	0,21	1,34	29,70	0,22	1,52	24,55	0,23	1,74
7,40	176,50	0,15	0,42	127,90	0,15	0,55	91,35	0,17	0,71	75,10	0,18	0,83	57,80	0,19	1,01	46,75	0,20	1,18	39,10	0,21	1,34	32,10	0,22	1,52	26,55	0,23	1,75
8,00	189,40	0,15	0,42	137,30	0,15	0,55	98,10	0,17	0,72	80,65	0,18	0,83	62,10	0,19	1,01	50,25	0,20	1,18	42,00	0,21	1,34	34,50	0,22	1,52	28,50	0,23	1,75
8,50	202,25	0,15	0,42	146,60	0,15	0,55	104,80	0,17	0,72	86,20	0,18	0,83	66,40	0,19	1,01	53,70	0,20	1,18	45,00	0,21	1,34	36,90	0,22	1,52	30,55	0,23	1,75

Tableau A-8.13

VOIES D'EAU PARABOLIQUES

V_1 pour retardance "D" Largeur au sommet "T" Profondeur "D" et V_2 pour retardance "C"

PENTE : 10,00 POURCENT

DEBITS m³/s	V₁ : 0,60			V₁ : 0,75			V₁ : 0,90		
	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂
0,40	13,00	0,13	0,35	9,90	0,14	0,46	7,00	0,15	0,60
0,55	18,33	0,13	0,35	13,20	0,14	0,46	9,30	0,15	0,61
0,70	22,80	0,13	0,35	16,40	0,14	0,46	11,55	0,15	0,61
0,85	27,25	0,13	0,35	19,60	0,14	0,46	13,85	0,15	0,61
1,00	31,65	0,13	0,35	22,75	0,14	0,47	16,00	0,15	0,62
1,15	36,00	0,13	0,35	25,90	0,14	0,47	18,25	0,15	0,62
1,30	40,30	0,13	0,36	29,00	0,14	0,47	20,50	0,15	0,62
1,45	44,65	0,13	0,36	32,15	0,14	0,47	22,70	0,15	0,62
1,60	48,85	0,13	0,36	35,20	0,14	0,47	24,90	0,15	0,63
1,70	53,10	0,13	0,36	38,25	0,14	0,47	27,00	0,15	0,63
1,85	57,25	0,13	0,36	41,25	0,14	0,48	29,20	0,15	0,63
2,00	61,40	0,13	0,36	44,25	0,14	0,48	31,30	0,15	0,63
2,15	65,45	0,13	0,36	47,20	0,14	0,48	33,40	0,15	0,63
2,30	69,50	0,13	0,37	50,00	0,14	0,48	35,50	0,15	0,64
2,55	77,85	0,13	0,37	56,00	0,14	0,48	39,80	0,15	0,64
2,80	86,15	0,13	0,37	62,00	0,14	0,48	44,00	0,15	0,64
3,10	94,30	0,13	0,37	68,00	0,14	0,49	48,30	0,15	0,64
3,40	102,40	0,13	0,37	74,00	0,14	0,49	52,50	0,15	0,65
3,70	110,50	0,13	0,37	79,80	0,14	0,49	56,70	0,15	0,65
4,00	118,50	0,13	0,37	85,50	0,14	0,49	60,80	0,15	0,65
4,25	126,40	0,13	0,37	91,30	0,14	0,49	65,00	0,15	0,65
4,50	134,25	0,13	0,37	97,00	0,14	0,49	69,00	0,15	0,65
4,80	142,00	0,13	0,38	102,70	0,14	0,50	73,10	0,15	0,65
5,10	149,70	0,13	0,38	108,30	0,14	0,50	77,20	0,15	0,66
5,40	157,30	0,13	0,38	113,90	0,14	0,50	81,25	0,15	0,66
5,65	164,80	0,13	0,38	119,50	0,14	0,50	85,20	0,15	0,66
6,25	180,60	0,13	0,38	130,90	0,14	0,50	93,40	0,15	0,66
6,80	195,00	0,13	0,38	142,25	0,14	0,50	101,60	0,15	0,66
7,40	211,50	0,13	0,39	153,50	0,14	0,50	109,70	0,15	0,66
8,00	226,80	0,13	0,39	164,70	0,14	0,50	117,75	0,15	0,66
8,50	242,00	0,13	0,30	175,80	0,14	0,51	125,75	0,15	0,67

DEBITS m³/s	V₁ : 1,05			V₁ : 1,20			V₁ : 1,35		
	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂
0,40	5,05	0,16	0,78	4,10	0,17	0,91	3,25	0,18	1,08
0,55	6,75	0,16	0,78	5,45	0,17	0,91	4,35	0,18	1,08
0,70	8,40	0,16	0,79	6,80	0,17	0,91	5,45	0,18	1,09
0,85	10,00	0,16	0,79	8,10	0,17	0,92	6,50	0,18	1,09
1,00	11,70	0,16	0,79	9,45	0,17	0,92	7,55	0,18	1,09
1,15	13,33	0,16	0,79	10,75	0,17	0,93	8,65	0,18	1,09
1,30	14,95	0,16	0,80	12,10	0,17	0,93	9,70	0,18	1,10
1,45	16,55	0,16	0,80	13,40	0,17	0,93	10,75	0,18	1,10
1,60	18,15	0,16	0,80	14,70	0,17	0,93	11,75	0,18	1,10
1,70	19,75	0,16	0,80	16,00	0,17	0,94	12,80	0,18	1,11
1,85	21,35	0,16	0,80	17,25	0,17	0,94	13,80	0,18	1,11
2,00	22,90	0,16	0,80	18,50	0,17	0,94	14,80	0,18	1,12
2,15	24,50	0,16	0,81	19,80	0,17	0,94	15,90	0,18	1,12
2,30	26,00	0,16	0,81	21,00	0,17	0,94	16,90	0,18	1,12
2,55	29,20	0,16	0,81	23,60	0,17	0,95	18,90	0,18	1,12
2,80	32,30	0,16	0,81	26,20	0,17	0,95	21,00	0,18	1,13
3,10	35,50	0,16	0,82	28,75	0,17	0,95	23,00	0,18	1,13
3,40	38,50	0,16	0,82	31,25	0,17	0,95	25,00	0,18	1,13
3,70	41,60	0,16	0,82	33,80	0,17	0,95	27,00	0,18	1,13
4,00	44,70	0,16	0,82	36,30	0,17	0,95	29,00	0,18	1,14
4,25	47,75	0,16	0,83	38,75	0,17	0,96	31,00	0,18	1,14
4,50	50,75	0,16	0,83	41,25	0,17	0,96	33,00	0,18	1,14
4,80	53,75	0,16	0,83	43,70	0,17	0,96	35,00	0,18	1,15
5,10	56,75	0,16	0,83	46,20	0,17	0,96	37,00	0,18	1,15
5,40	59,75	0,16	0,83	48,60	0,17	0,97	39,00	0,18	1,15
5,65	62,75	0,16	0,84	51,00	0,17	0,97	41,00	0,18	1,16
6,25	68,75	0,16	0,84	56,00	0,17	0,97	45,00	0,18	1,16
6,80	74,75	0,16	0,84	60,90	0,17	0,97	49,00	0,18	1,16
7,40	80,75	0,16	0,84	65,75	0,17	0,97	52,75	0,18	1,16
8,00	86,75	0,16	0,84	70,60	0,17	0,98	56,70	0,18	1,16
8,50	92,66	0,16	0,84	75,50	0,17	0,98	60,50	0,18	1,17

DEBITS m³/s	V₁ : 1,50			V₁ : 1,65			V₁ : 1,80		
	T	D	V₂	T	D	V₂	T	D	V₂
0,40	2,75	0,19	1,22	2,25	0,20	1,39	1,90	0,21	1,55
0,55	3,66	0,19	1,22	3,00	0,20	1,39	2,55	0,21	1,55
0,70	4,55	0,19	1,23	3,75	0,20	1,42	3,15	0,21	1,58
0,85	5,45	0,19	1,24	4,50	0,20	1,42	3,80	0,21	1,58
1,00	6,35	0,19	1,24	5,25	0,20	1,42	4,40	0,21	1,58
1,15	7,25	0,19	1,24	6,00	0,20	1,42	5,00	0,21	1,60
1,30	8,15	0,19	1,24	6,70	0,20	1,43	5,60	0,21	1,61
1,45	9,05	0,19	1,25	7,45	0,20	1,43	6,25	0,21	1,61
1,60	9,90	0,19	1,26	8,15	0,20	1,44	6,85	0,21	1,61
1,70	10,80	0,19	1,26	8,90	0,20	1,44	7,45	0,21	1,62
1,85	11,65	0,19	1,26	9,60	0,20	1,44	8,05	0,21	1,62
2,00	12,50	0,19	1,26	10,30	0,20	1,45	8,66	0,21	1,62
2,15	13,40	0,19	1,27	11,00	0,20	1,45	9,25	0,21	1,63
2,30	14,20	0,19	1,27	11,75	0,20	1,45	9,85	0,21	1,63
2,55	16,00	0,19	1,27	13,20	0,20	1,46	11,10	0,21	1,63
2,80	17,75	0,19	1,27	14,60	0,20	1,46	12,25	0,21	1,63
3,10	19,50	0,19	1,27	16,00	0,20	1,46	13,50	0,21	1,63
3,40	21,25	0,19	1,28	17,50	0,20	1,46	14,70	0,21	1,63
3,70	22,90	0,19	1,28	18,90	0,20	1,47	15,90	0,21	1,64
4,00	24,60	0,19	1,28	20,30	0,20	1,47	17,00	0,21	1,64
4,25	26,25	0,19	1,28	21,70	0,20	1,47	18,20	0,21	1,65
4,50	28,00	0,19	1,28	23,00	0,20	1,47	19,40	0,21	1,65
4,80	29,60	0,19	1,29	24,50	0,20	1,47	20,55	0,21	1,65
5,10	31,25	0,19	1,29	25,90	0,20	1,47	21,75	0,21	1,65
5,40	33,00	0,19	1,29	27,25	0,20	1,48	22,90	0,21	1,66
5,65	34,60	0,19	1,30	28,60	0,20	1,48	24,05	0,21	1,66
6,25	38,00	0,19	1,30	31,50	0,20	1,48	26,40	0,21	1,66
6,80	41,30	0,19	1,30	34,25	0,20	1,48	28,75	0,21	1,66
7,40	44,60	0,19	1,30	37,00	0,20	1,48	31,00	0,21	1,67
8,00	48,00	0,19	1,30	39,75	0,20	1,49	33,50	0,21	1,67
8,50	51,25	0,19	1,31	42,50	0,20	1,49	35,75	0,21	1,67

Tableau A-8.14

ANNEXE B-8

EXEMPLE DE CALCUL #1

Dimensionnez une voie d'eau parabolique pour un débit de pointe de 2 m^3/sec, dont la pente sera de 1%, qui sera située sur un sol facilement érodable et qui aura un couvert végétal moyennement établi.

Solution:

1. Pour ce couvert végétal, le tableau 8.1 recommande une vitesse permise de 0,9 m/sec. Ceci nous donne V_1 pour une condition de retardance D.

2. En se référant à l'annexe A-8, page 8-25 nous trouvons pour une pente de 1%, avec un débit de 2 m^3/sec et pour une vitesse V_1 de 0,9 m/sec les dimensions suivantes:

   T = 7,85 m D = 0,44 m V_2 = 0,87 m/sec

   Celles-ci sont les dimensions de la voie d'eau pour une condition de retardance C.

3. En additionnant une revanche de 0,10 m à D, on obtient la profondeur totale (P) de la voie d'eau égale à 0,54 m.

Pour obtenir la largeur totale au sommet (L), résultant de la profondeur finale (P), on utilise la relation suivante:

$$L = T\,(P/D)^{1/2}$$

$$L = 7{,}85\,(0{,}54/0{,}44)^{1/2}$$

$$= 8{,}70 \text{ m}$$

Donc les dimensions finales de la voie d'eau seront:

L = 8,70 m et P = 0,54 m

EXEMPLE DE CALCUL #2

Pour les mêmes conditions que l'exemple #1, dimensionnez une voie d'eau engazonnée à section trapézoïdale dont l'inclinaison des talus sera de 1:4.

Résumé des données: $Q = 2\ m^3/sec$

$S = 1\%$

V_{max} (retardance D) = 0,9 m/sec

Solution:

- Selon l'équation de continuité

$$Q = VA \qquad (1)$$

où Q : débit (m^3/sec);

V : vitesse moyenne d'écoulement (m/sec);

A : section d'écoulement (m^2);

alors $A = Q/V$; aussi $A = \frac{2\ m^3/sec}{0,9\ m/sec} = 2,22\ m^2$

- Selon l'équation d'écoulement de Manning

$$V = \frac{R^{2/3}\ S^{1/2}}{n} \qquad (2)$$

où R : Rayon hydraulique (m);

S : Pente (m/m);

n : Coefficient de rugosité de Manning;

aussi $$n = \frac{R^{2/3}\ S^{1/2}}{V} \qquad (3)$$

en substituant nos valeurs dans l'équation (3)

$$n = \frac{R^{2/3} \times (0,01)^{1/2}}{0,9}$$

$$n = 0,11\ R^{2/3} \qquad (4)$$

Une itération est requise, pour laquelle la valeur de n sera supposée

essayons $n = 0{,}040$

En utilisant la figure 8.5, on trouve pour la courbe D les résultats suivants:

si $n = 0{,}04$, alors VR = $\underline{0{,}3}$

en substituant $n = 0{,}04$ à l'équation (4)
on trouve que $R = 0{,}22$

ce qui donne une valeur de VR à comparer avec celle trouvée à partir de la courbe D

$VR = 0{,}90 \times 0{,}22 = \underline{0{,}20}$

Comme $0{,}20 \neq 0{,}30$, ceci indique que notre valeur supposée de n (0,04) est insuffisante.

Essayons $n = 0{,}045$

- courbe D fig. 8.5 à $n = 0{,}045$ alors VR = $\underline{0{,}22}$

en substituant $n = 0{,}045$ à l'équation (4), on trouve que

$R = 0{,}26$

$VR = 0{,}90 \times 0{,}26 = \underline{0{,}24}$

nos deux valeurs de VR sont assez près à $\pm$ 10% indiquant que la valeur $n = 0{,}045$ est suffisante et que la valeur du rayon hydraulique (R) sera 0,26.

Selon les propriétés géométriques des canaux trapézoïdaux:

$$A = (b + ZY)\, Y \qquad (5)$$

où A : section d'écoulement (m^2);
b : largeur au fond de la section (m);
Z : fruit du talus;
Y : hauteur d'eau (m);

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + ZY)\, Y}{b + 2\, Y\, (1 + Z^2)^{1/2}} \qquad (6)$$

où P : périmètre mouillé (m);
les autres variables ont déjà été définies

Rappelons que $A = 2,22\ m^2$
$R = 0,26\ m$

En substituant ces valeurs dans les équations (5) et (6) on obtient:

$$A = 2,22 = (b + ZY)\ Y \Rightarrow b = \frac{2,22}{Y} - ZY \qquad (7)$$

$$R = 0,26 = \frac{(b + ZY)Y}{b + 2Y\ (1 + Z^2)^{1/2}} = \frac{2,22}{b + 2Y\ (1 + Z^2)^{1/2}} \qquad (8)$$

En substituant la valeur de Z par 4 (l'inclinaison du talus étant 1:4) nous avons 2 équations((7) et (8)) pour 2 inconnus (b et Y), ce qui nous permet de les solutionner. On trouve ainsi que:

$$Y = 0,30\ m \quad \text{et} \quad b = 6,20\ m$$

Ceci nous donne les dimensions de la voie d'eau pour une retardance D, correspondant au dimensionnement d'une voie d'eau stable, pour le débit désiré avec des conditions de sol, de couvert végétal et de pente de terrain requis.

Il nous faut maintenant considérer une condition de retardance C, afin de s'assurer d'une section d'écoulement suffisante lorsque la densité du couvert végétal sera plus grande.

Dans cette condition, la vitesse de l'écoulement diminue à cause de l'augmentation de la restriction, ce qui entraîne un rehaussement de la hauteur d'eau.

Une itération est requise ici afin de trouver cette nouvelle condition.

Ajoutons 0,10 m à la valeur de Y
précédemment trouvée pour la retardance D.

$$Y = 0,1 + 0,3 = 0,4$$

$$A = (b + ZY)\ Y = (6,2 + 4 \times 0,4) \times 0,4 = 3,10\ m^2$$

$$R = \frac{(b + ZY)Y}{b + 2y\ (1 + Z^2)^{1/2}} = \frac{3,10}{6,2 + 2 \times 0,4\ (1 + 4^2)^{1/2}} = 0,33$$

Dans ces conditions:

$$V = Q/A = \frac{2\ m^3/\ sec}{3,10\ m^2} = 0,64\ m/sec$$

$$VR = 0,64 \times 0,33 = 0,21$$

En utilisant la courbe C fig. 8.5

à VR = 0,21 on trouve n = 0,056

En substituant ces valeurs dans l'équation (2)

$$V = \frac{0,33^{2/3} \times 0,01^{1/2}}{0,056} = 0,85 \text{ m /sec}$$

Comme nos valeurs de V diffèrent (0,65 ≠ 0,85) ceci indique que la valeur de Y supposée n'est pas adéquate.

Essayons en ajoutant 0,05 à la valeur de Y de la retardance D.

$$Y = 0,3 + 0,05 = 0,35 \text{ m}$$

$$A = (6,2 + 4 \times 0,35)\ 0,35 = 2,66 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{2,66}{6,2 + 2 \times 0,35\ (1 + 4^2)^{1/2}} = 0,29 \text{ m}$$

$$V = Q/A = 2,00 / 2,66 = 0,75 \text{ m/sec}$$

$$VR = 0,75 \times 0,29 = 0,22$$

Courbe C fig. 8.5 à VR = 0,22 n = 0,055

En essayant ces valeurs dans l'équation (2), on trouve

$$V = \frac{0,29^{2/3} \times 0,01^{1/2}}{0,055} = 0,79 \text{ m /sec}$$

Comme nos valeurs de V sont très près (0,75 vs 0,79) à ± 10%, on peut considérer que nos dimensions sont suffisantes.

Aussi pour les conditions de retardance C, on obtient:

$$b = 6,2 \text{ m} \quad \text{et} \quad Y = 0,35 \text{ m}$$

En ajoutant une revanche de 0,10 à Y, on obtient la profondeur finale (P) de la voie d'eau. Aussi P = 0,45 m, conséquemment les dimensions finales seront:

$$b = 6,2 \text{ m} ; \quad P = 0,45 \text{ m} ; \quad L = 9,8 \text{ m}$$

où L : largeur en haut (m)

CHAPITRE 9

AMÉNAGEMENT DE STRUCTURES POUR L'ÉVACUATION OU LE CAPTAGE DES EAUX DE RUISSELLEMENT

Aménagement de structures pour l'évacuation ou le captage des eaux de ruissellement

Auteurs: Daniel Yves Martin, ingénieur
Yvon Brochu, ingénieur
Richard Laroche, ingénieur

TABLE DES MATIERES

			PAGE
9.1	Domaine d'application		9-3
9.2	Définitions		9-3
	9.2.1	Chute en terre recouverte d'un géosynthétique ou enrochée	9-3
	9.2.2	Drain communautaire	9-4
	9.2.3	Avaloir	9-4
	9.2.4	Bassin de captage avec avaloir	9-4
	9.2.5	Bassin de sédimentation avec avaloir	9-5
	9.2.6	Bassin de rétention d'eau avec contrôle	9-5
	9.2.7	Risberme	9-5
9.3	Choix de la structure		9-6
	9.3.1	Critères de choix	9-6
9.4	Dimensionnement des conduites d'évacuation		9-8
	9.4.1	Structures à ciel ouvert	9-9
	9.4.2	Design d'un avaloir surélevé (type "Hickenbottom")	9-16
	9.4.3	Ponceau	9-19
Tableau 9.1		Taux de sédimentation des particules de sol	9-20
Figures 9.1		Bassin de captage avec avaloir	9-21
9.2		Structure de captage et d'évacuation de l'eau de surface	9-21
9.3		Risberme de retenue	9-22
9.4		Volume de retenue du bassin	9-22
9.5		Chute enrochée	9-23
9.6		Nomogramme de calcul de la grosseur minimum de la pierre de protection	9-24
9.7		Nomogramme des débits des tuyaux à intérieur annelé en plastique	9-25
9.8		Nomogramme des débits des tuyaux à intérieur lisse en plastique	9-26
9.9		Nomogramme des débits des tuyaux en béton	9-27
9.10		Nomogramme des débits des tuyaux en acier	9-28
9.11		Coefficients des pertes de charges des conduites	9-29
Annexes A-9		Calcul du volume d'un bassin de captage	9-30
B-9		Exemples de dimensionnement	9-39

9.0 AMÉNAGEMENT DE STRUCTURES POUR L'ÉVACUATION OU LE CAPTAGE DES EAUX DE RUISSELLEMENT

9.1 DOMAINE D'APPLICATION

Les structures visent à réduire l'érosion hydrique causée par les eaux de ruissellement. Ces eaux non contrôlées peuvent provoquer une érosion de surface pouvant aller jusqu'au ravinement.

Ces structures peuvent servir à régler un problème ponctuel (confluence d'un fossé et d'un cours d'eau...), local (stabilisation d'une coulée ou d'un ravin...) ou global (aménagement intégré d'une parcelle ou d'un champ sensible à l'érosion...).

Les types de structures visés par le chapitre sont:

- chute en terre recouverte d'un géosynthétique ou enrochée;
- drain communautaire;
- avaloir;
- bassin de captage avec avaloir;
- bassin de sédimentation avec avaloir;
- bassin de rétention d'eau avec contrôle;
- risberme;
- ponceau.

9.2 DÉFINITIONS

9.2.1 CHUTE EN TERRE RECOUVERTE D'UN GÉOSYNTHÉTIQUE OU ENROCHÉE

Lorsqu'il existe une dénivellation entre le fond d'une rigole et le fond du fossé récepteur, il convient de protéger la chute avec un matériel de couverture résistant aux vitesses rencontrées au moyen d'un

géosynthétique ou d'un enrochement. En plus, la chute enrochée peut servir à stabiliser un site d'érosion de dimension importante.

9.2.2 DRAIN COMMUNAUTAIRE

L'utilisation d'un drain communautaire permet d'éviter le creusage d'un tronçon de cours d'eau pour des raisons économiques, fauniques ou autres. Il est dimensionné en fonction de la sommation des débits de chacune des entreprises qui utilisent le drain communautaire comme sortie d'évacuation des eaux.

Les producteurs agricoles qui veulent aménager un drain communautaire doivent conclure une entente notariée spécifiant les droits et les obligations de chacun lors de l'exploitation d'une telle structure.

9.2.3 AVALOIR

Un avaloir est une bouche d'admission permettant l'entrée de l'eau de ruissellement accumulée dans une dépression ou un bassin, et servant à acheminer l'eau vers un exutoire au moyen d'une canalisation souterraine. L'avaloir peut être surélevé du type "Hickenbottom" (figure 9.1) ou d'un tuyau surmonté d'une grille d'admission métallique (figure 9.2).

9.2.4 BASSIN DE CAPTAGE AVEC AVALOIR

Un bassin de captage est une cuvette d'interception de dimension intermédiaire pouvant accumuler l'eau sur une courte période (3 à 6 heures). Ceci est applicable pour des superficies restreintes (1 à 5 ha), sur des

sols peu érosifs et pour des cultures peu tolérantes à la submersion. L'avaloir et l'ensemble des conduites devront présenter un minimum de restriction à l'entrée de l'eau.

9.2.5 BASSIN DE SÉDIMENTATION AVEC AVALOIR

Le bassin de sédimentation est une version à grande échelle d'un bassin de captage, servant à accumuler l'eau d'une superficie supérieure à 5 ha pendant une période pouvant dépasser 24 heures. Il permet la sédimentation de la fraction la plus grossière des matières en suspension.

9.2.6 BASSIN DE RÉTENTION D'EAU AVEC CONTROLE

C'est un bassin permettant l'accumulation d'eau en vue de sa réutilisation éventuelle à des fins d'irrigation. Le niveau de l'eau est contrôlé au moyen d'un déversoir ou d'un trop plein.

Ce type de bassin peut être situé à l'aval d'un bassin de sédimentation et recueillir une eau claire débarrassée des sédiments les plus grossiers.

9.2.7 RISBERME

On distingue deux types de risberme, soit une risberme de retenue (figure 9.3) et une risberme de diversion.

Une risberme de diversion est une levée de terre qui prend la forme d'une surélévation continue du terrain, parallèle au tracé d'un cours d'eau, qui évite le ruissellement direct sur les talus et dirige l'eau

vers des accès contrôlés et protégés.

Une risberme de retenue est une levée de terre jouant le rôle d'endiguement, qui sert à créer une retenue d'eau et à créer un volume de stockage lequel pourra être acheminé au cours d'eau par une conduite souterraine (figure 9.4).

9.3 CHOIX DE LA STRUCTURE

9.3.1 CRITERES DE CHOIX

Les critères de dimensionnement des structures sont:

- les prévisions de débits à partir des calculs hydrologiques;
- la sensibilité du sol à l'érosion et l'ampleur de la charge sédimentaire générée;
- les types de cultures pratiquées, le risque associé à la submersion et leur degré de tolérance à la submersion;
- l'évaluation d'un besoin d'évacuation d'eau plus ou moins rapide;
- l'hydraulique des conduites;
- les mesures de protection à prévoir en cas de dépassement du débit de design.

9.3.1.1 Hydrologie (prévision de débits)

L'ampleur des débits calculés à partir des modèles hydrologiques (chapitre 1) déterminera la dimension des structures pour le contrôle du ruissellement (volume de stockage, section des conduites, largeur et forme du déversoir...) en fonction de la période de récurrence choisie.

9.3.1.2 Érosivité et charge sédimentaire

Lorsque le type de sol, les pratiques culturales et les conditions de pente génèrent une charge sédimentaire importante, on aura recours à un bassin permettant la sédimentation des matières en suspension. Dans les autres cas on aura recours à des structures permettant une évacuation rapide des eaux de ruissellement (chute enrochée ou avaloir de grande dimension de style égoût pluvial).

Les sols à texture légère, à faible taux de matière organique et travaillés intensivement, le tout associé à de fortes pentes, sont les plus vulnérables à l'érosion hydrique. De plus le type de culture et l'intensité des pratiques culturales contribuent à rendre le sol sensible à l'érosion.

L'annexe A-7 du chapitre 7 traite du calcul des pertes de sol et permet de quantifier la charge sédimentaire générée par les conditions du terrain.

La littérature nous indique que de 30% à 50% du volume de sol arraché est transporté vers les structures ou émissaires de drainage. Il serait sage pour le producteur de réviser et de corriger les pratiques culturales qui sont à l'origine des problèmes d'érosion. Les structures ne constituent pas une solution en elles-mêmes mais doivent s'intégrer dans un ensemble de bonnes pratiques.

9.3.1.3 Risques associés à la submersion et rapidité d'évacuation des eaux

Lorsque les cultures sont peu tolérantes à la submersion, les structures seront dimensionnées de façon à

favoriser l'évacuation des eaux dans les meilleurs délais sans dépasser les limites raisonnables de coût. Par exemple les pommes de terre ne supportent pas une durée de submersion supérieure à 3 heures.

Le fond d'un bassin de captage ou de sédimentation doit être recouvert d'un mélange d'herbacées du même type que celui utilisé pour protéger les voies d'eau engazonnées (chapitre 8). La surface à recouvrir doit correspondre au périmètre mouillé lorsque la lame d'eau est à son niveau maximum et que le déversoir d'urgence entre en action.

Il ne faut pas recouvrir le fond du bassin de cultures commerciales annuelles en raison des risques de perte associés à la nature aléatoire des événements météorologiques. La submersion peut survenir à n'importe quel stade de croissance de la plante, qui peut être résistance au stade mature mais fragile au stade de plantule.

De plus, les produits qui doivent être entreposés peuvent connaître des pertes importantes au niveau de la conservation en raison d'une susceptibilité plus grande à la putréfaction de la portion de la récolte qui a été submergée.

9.4 DIMENSIONNEMENT DES CONDUITES D'ÉVACUATION

Une conduite peut prendre la forme d'un canal à ciel ouvert (chute en terre et/ou enrochée, et déversoir d'urgence), d'une structure d'admission (avaloir surélevé avec ou sans diaphragme, ou avaloir avec grille d'admission) ou d'une canalisation souterraine (tuyau annelé ou lisse en polyéthylène ou autre

matière plastique, tuyau de tôle ondulée, tuyau de béton).

9.4.1 STRUCTURES A CIEL OUVERT

9.4.1.1 Risberme de diversion

Lors de l'aménagement d'un cours d'eau, les déblais pourront servir à la construction d'une risberme. Ceci permet d'éviter le régalage ou le transport de matériel impropre à la culture ou incompatible avec les pratiques culturales.

La hauteur minimale de la risberme sera de l'ordre de 30 cm par rapport au terrain adjacent. La largeur sera fonction du volume de déblais disponible lors de l'excavation.

Du côté du cours d'eau, la pente de la risberme sera le prolongement de la pente de talus du cours d'eau. L'autre versant présentera une pente permettant l'accès à la machinerie (de 1:4 à 1:6).

La rigole d'interception, située à la base de la risberme du côté du champ, devra présenter une pente régulière et canaliser l'eau vers des points d'accès protégés au cours d'eau.

L'ensemble (risberme et rigole) sera protégé par un couvert herbacé. Les points d'accès au cours d'eau pourront prendre la forme d'un ponceau, d'une chute enrochée ou d'un avaloir.

9.4.1.2 Chute enrochée ou protégée avec géosynthétique

A - Chute enrochée

Les chutes enrochées (figure 9.5) permettent de transiter sécuritairement une concentration d'eau sur une une forte dénivellation. Ce type de structure permet de protéger la confluence d'un fossé avec un cours d'eau ou de stabiliser localement un foyer d'érosion. L'orientation de la chute peut être perpendiculaire à l'écoulement de l'eau dans le cours d'eau, ou en travers du talus dans le sens de l'écoulement afin d'allonger la longueur d'écoulement et ainsi diminuer la pente.

Les chutes donnent une protection immédiatement après la construction, s'adaptent facilement à la topographie du terrain et permettent de fortes capacités d'évacuation. Par contre l'achat et le transport de la pierre peuvent être problématique dans certaines régions du Québec.

La longueur du tablier d'entrée doit être égale à au moins 3 fois la hauteur de la dénivellation, le minimum étant de 1 mètre. Idéalement le tablier de sortie de la chute doit être égal à au moins 2 fois la hauteur de la dénivellation. Dans certains cas le tablier de l'entrée de la chute peut exiger une longueur considérable sur le terrain.

Lors de la construction une membrane géotextile devra être déposée préalablement sous la pierre. Cette membrane devra être ancrée verticalement de 300 mm au pourtour de la chute afin d'éviter l'arrachement des particules de sol sous la pierre.

L'épaisseur de l'enrochement sera entre 1,5 et 2 fois le diamètre des plus grosses pierres et en aucun temps inférieure à 300 mm. La section d'écoulement de la chute devrait être calculée selon les techniques préconisées dans le "Guide d'analyse et d'aménagement des cours d'eau à des fins agricoles", février 1988.

Le diamètre de la pierre pourra être établi soit à partir de la figure 9.6 ou à partir du calcul des forces tractrices, tel que décrit à la section 4.3.2.2 du "Guide d'analyse et d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles".

Note: Le logiciel MLJC 8806 permet de déterminer la section d'une chute en fonction des paramètres hydrologiques et hydrauliques. De même, il permet de déterminer les forces tractrices exercées sur le fond et les talus de la chute.

En aucun temps la pente de la chute ou des talus de la chute ne devra être supérieure à 1:1,5.

B - Chute protégée avec géosynthétique

Lorsque la pierre n'est pas disponible, il est possible d'utiliser des membranes géosynthétiques pour recouvrir le périmètre mouillé de la chute. Il existe différents types de géosynthétiques, tel les géomembranes (toile caoutchoutée), les filets à mailles (Enkamat, Erolan), filets doubles paillis (Ero-Mat, Excelsior), structures alvéolaires (Geoweb, Armater). Les catalogues des divers manufacturiers contiennent les données sur les critères de design et d'installation.

Un couvert herbacé composé de graminées sera associé à ces divers matériaux (sauf pour les géomembranes) comme mesure supplémentaire de protection. Avec les filets à mailles, l'emploi des légumineuses est à éviter en raison de la morphologie de la plante.

9.4.1.3 Risberme de retenue

La risberme de retenue est une digue servant à créer un bassin de captage sur un sol à pente accentuée.

La digue sera construite avec un sol contenant 10 % d'argile ou plus, compacté en couches minces, ou avec un sol dans lequel on retrouvera une membrane imperméable faisant office de noyau d'étanchéité.

La pente des talus recommandée est de 1:2 avec une largeur au sommet de la digue de 1 m. La hauteur maximale ne devrait pas excéder 2,20 m en raison des pressions exercées sur la digue et les conduites. Le bassin versant ne devrait pas excéder 20 ha.

La surface de la risberme ainsi que le fond de la cuvette servant à accumuler l'eau devront être ensemencés et protégés par un couvert herbacé du même type que celui utilisé dans le fond des voies d'eau engazonnées.

On doit prévoir un déversoir d'urgence au sommet de la risberme lorsque la quantité d'eau reçue excède la récurrence de design. Ce déversoir doit être protégé par un enrochement déposé sur un géotextile. L'enrochement doit pouvoir résister à des vitesses d'eau de l'ordre de 2 à 5 m/s.

9.4.1.4 Bassin de retenue (captage ou sédimentation)

Le bassin de retenue peut être dimensionné pour capter et accumuler l'eau pendant une période variant normalement entre 3 à 24 heures.

Pour obtenir une sédimentation des particules de sol en suspension d'un diamètre donné, il est recommandé d'ajuster le temps de séjour en fonction du taux de sédimentation des particules (voir tableau 9.1). La superficie du bassin sera dimensionnée à partir du tableau 9.1, et la profondeur ne devra pas être inférieure à 600 mm.

Si, au contraire, aucune déposition des particules en suspension n'est désirée (particulièrement dans le cas des sols fortement argileux, qui exigeraient des temps de sédimentation de plusieurs jours), il est recommandé de construire des bassins plus petits avec des conduites d'admission et d'évacuation d'eau de grande capacité pour assurer une évacuation rapide de l'eau.

Les abords des bouches d'admission devront être protégés par un empierrement sur géotextile pour résister aux turbulences locales engendrées par des vitesses élevées au voisinage de l'admission.

A - Captage

La démarche suivante est suggérée pour évaluer la quantité d'eau à intercepter et à évacuer souterrainement:

1 - la méthode rationnelle avec le temps de concentration du bassin calculé selon la méthode Mockus est recommandé pour évaluer le débit de pointe Q_p et le volume d'eau ruisselé V_r pour une récur-

rence choisie (5 ou 10 ans);

2 - le débit maximal d'évacuation de la conduite souterraine ou de l'admission doit être déterminé en fonction du choix du temps de séjour de l'eau dans le bassin. Si une admission de grande dimension munie d'une grille est utilisée afin de réduire la restriction à l'entrée, alors le débit maximal d'évacuation (Q_{sort}) est contrôlé par le diamètre de la conduite (écoulement libre). Les courbes de débits des conduites sont montrées aux figures 9.7, 9.8, 9.9 et 9.10;

3 - le volume de rétention V_b est calculé à partir de l'hypothèse qu'un hydrogramme triangulaire résulte d'une pluie de durée égale au temps de concentration du bassin (voir annexe A-9).
Connaissant Q_p (débit de pointe), Q_m (capacité des conduites), T_c (temps de concentration selon Mockus) et V_r (volume total ruisselé), le volume du bassin (V_b) est déterminé par :

$$V_b = V_r \frac{(Q_p - Q_m)^2}{Q_p^2}$$

La version 3 du logiciel " Evaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants " permet la simulation de différentes pluies avec différents temps de concentration et leur effet sur la capacité du bassin de rétention.

B - Sédimentation

Un avaloir avec un diaphragme est utilisé à des fins de sédimentation des particules de sol en suspension dans le bassin. Le débit maximal Q_{adm} est contrôlé

par les caractéristiques de l'entrée selon l'équation:

$$Q_{adm} = 0,60\ A_{adm}\ (2gH)^{0,5} = 2,66\ A_{adm}\ (H)^{0,5}$$

Q_{adm} : débit maximal à l'entrée (m^3/s)
($1\ m^3/s = 1\ 000\ l/s$);
A_{adm} : aire de la conduite d'admission ou du diaphragme (m^2);
H : hauteur maximale de la colonne d'eau (m).

Les bassins de sédimentation sont conçus pour retenir une partie des sédiments transportés par l'eau de ruissellement. La diminution de la vitesse d'écoulement des eaux permet aux particules en suspension de se déposer dû aux forces de gravité.

Au calcul du volume du bassin précédent, il faut ajouter le volume de sol érodé (V_S) lequel est évalué au moyen de l'équation des pertes de sol. Par souci de sécurité il faut considérer que 50 % du volume des pertes de sol se rendra au bassin. Ce volume est calculé pour une période de 10 ans, après quoi il faudra nettoyer le bassin. L'équation $A_S = 1,2\ Q/V_S$ définit la relation entre la grosseur des particules à retenir et la surface requise du bassin.

A_S : Surface requise du bassin (m^2);
Q : Débit (m^3/s);
V_S : Vitesse de sédimentation (m/s).

Le tableau 9.1 contient des données sur le diamètre des particules, les vitesses de déposition et sur la surface spécifique du bassin par unité de débit.

9.4.2 DESIGN D'UN AVALOIR SURÉLEVÉ (TYPE "HICKENBOTTOM")

9.4.2.1 Avaloir surélevé avec diaphragme

L'avaloir est constitué d'un tuyau d'entrée vertical lequel est relié à un tuyau d'évacuation souterrain. Le tuyau vertical est perforé de trous de diamètres variables. L'aire totale de la surface des trous est supérieure à la section du tuyau de sorte que ceux-ci ne causent pas de restriction à l'entrée et à l'écoulement de l'eau dans le tuyau. La capacité d'évacuation de l'avaloir dépend du diamètre de l'orifice (diaphragme), de la charge hydraulique et du temps de séjour recherché de l'eau dans le bassin. Un diaphragme est une plaque dotée d'un orifice calibré créant une restriction à l'écoulement servant à limiter le débit de façon à prolonger le temps de séjour de l'eau dans le bassin. La charge hydraulique s'exerçant sur le diaphragme est calculée de la façon suivante:

$$H = 0,7\ d_1 + d_2$$

d_1 : distance entre le fond du bassin et la crête du déversoir d'urgence;

d_2 : distance entre le diaphragme et le fond du bassin.

Le débit d'évacuation est calculé selon la formule suivante:

$$Q = 2,66\ A_{adm}\ H^{0,5}$$

Q : débit d'évacuation (m^3/s);

A_{adm} : section de l'orifice (diaphragme) (m^2);

H : charge hydraulique à l'orifice en colonne d'eau (m).

Pour opérer en écoulement libre la canalisation souterrraine doit présenter une capacité d'évacuation égale ou supérieure à la capacité d'évacuation de l'avaloir. Le dimensionnement des conduites en écoulement libre peut se faire à l'aide des courbes de débit selon les figures 9.7 à 9.10.

Comme le débit limite du système est déterminé par la capacité de l'entrée selon l'équation $Q = 2,66\ A_{adm}\ H^{0.5}$, on présume qu'on obtient des conditions d'écoulement sans charge dans la conduite comme dans le cas d'un égoût pluvial.

On prendra soin de prévoir des colliers anti-percolation près de l'avaloir pour éviter que l'infiltration d'eau ne mine le sol autour de la conduite enfouie. Ces colliers peuvent prendre la forme d'un panneau de contre-plaqué de 1,20 m x 1,20 m ou d'une feuille de tôle de même dimension. Le sol doit être bien compacté autour des conduites et près des colliers anti-percolation.

Les tuyaux doivent être installés assez profondément pour ne pas être altérés par le soulèvement dû au gel ou par les charges occasionnées par le passage de la machinerie. Un recouvrement de 0,9 m est suggéré.

9.4.2.2 Avaloir surélevé sans diaphragme

Dans le cas d'un avaloir surélevé sans diaphragme, le débit d'évacuation peut être déterminé par le contrôle à l'entrée ou par le contrôle à la sortie.

L'équation pour le contrôle à l'entrée est:

$Q_{adm} : 2,66\ A_{adm}\ H^{0,5}$

Q_{adm} : débit à l'entrée (m^3/s);
A_{adm} : section minimale de l'admission à la jonction avaloir et conduite d'évacuation (m^2);
H : charge hydraulique (m).

L'équation pour le contrôle à la sortie est:

$$Q_{sort} = \frac{A_{sort}\ (2gH_t)^{0,5}}{(1+K_e+K_b+K_cL)^{0,5}}$$

Q_{sort} : débit à la sortie (m^3/s);
A_{sort} : section de la conduite (m^2);
K_c : coefficient de perte de charge unitaire;
K_b : coefficient de perte de charge dans les coudes;
K_e : coefficient de perte de charge à l'entrée;
L : longueur de la conduite (m);
H_t : dénivellation totale entre la ligne d'eau à la crête du déversoir et la sortie de la conduite d'évacuation (m).

Le coefficient de perte de charge K_c est défini par l'équation suivante:

$K_c = 125\ n^2/D^{1,33}$

n : coefficient de rugosité de Manning;
D : diamètre de la conduite (m).

Des valeurs de K_e et K_b apparaissent à la figure 9.11.

9.4.3 PONCEAU

Lorsqu'un bassin de captage est situé à proximité d'un exutoire et que l'accumulation n'est pas acceptable, l'utilisation d'un ponceau pourra remplacer un avaloir avec conduite souterraine comme dans le cas d'une traverse de risberme. Le chapitre 6.0 du guide d'analyse et d'aménagement des cours d'eau à des fins agricoles traite du dimensionnement des ponceaux.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

TABLEAU 9.1 Taux de sédimentation des particules de sol *

	Diamètre des particules (mm)	Vitesse de sédimentation (m/s)	Surface spécifique du bassin par unitée de débit ($m^2/m^3/s$)
	0.5	0.058	20.7
Sable	0.2	0.020	58.7
	0.1	0.0070	171.0
	0.05	0.0019	635.0
Limon	0.02	0.000 29	4 101.0
	0.01	0.000 073	16 404.0
	0.005	0.000 018	65 617.0

* Source : Erosion and sediment control handbook

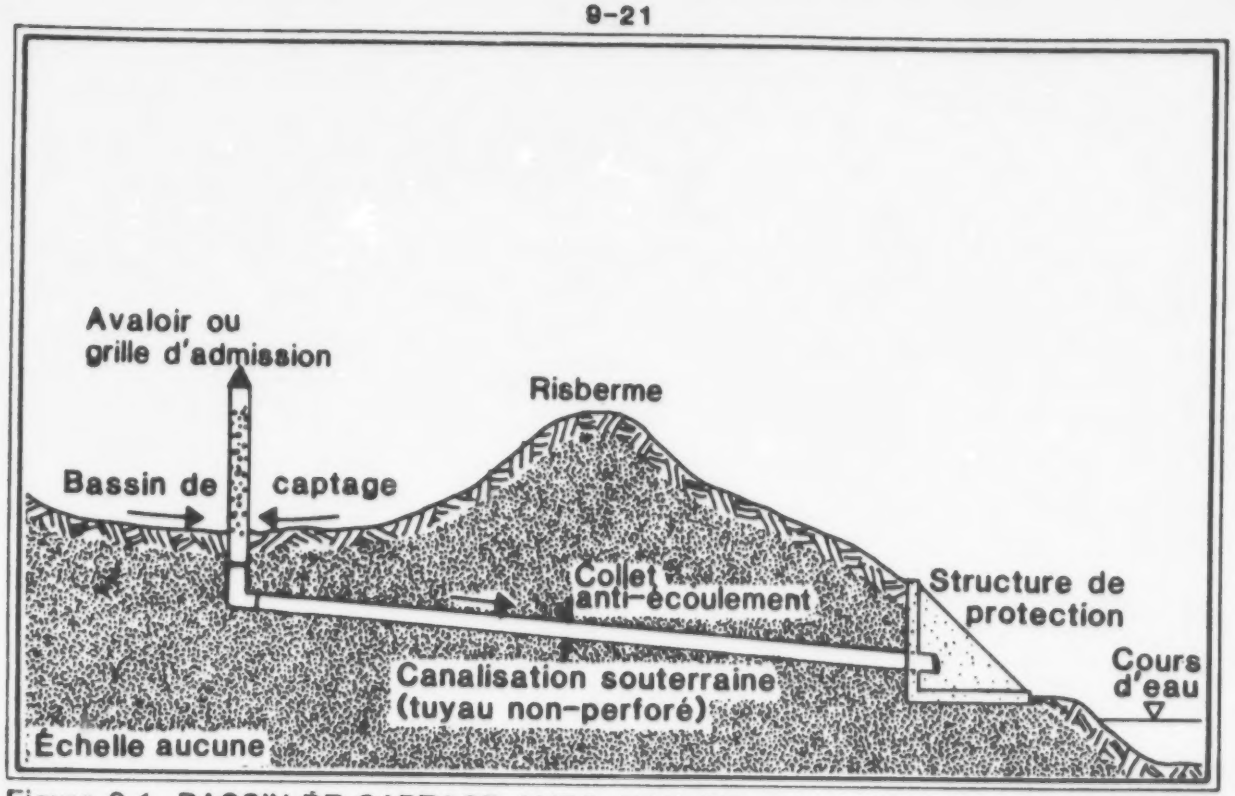


Figure 9.1 BASSIN DE CAPTAGE AVEC AVALOIR, CANALISATION SOUTERRAINE ET SORTIE PROTÉGÉE.

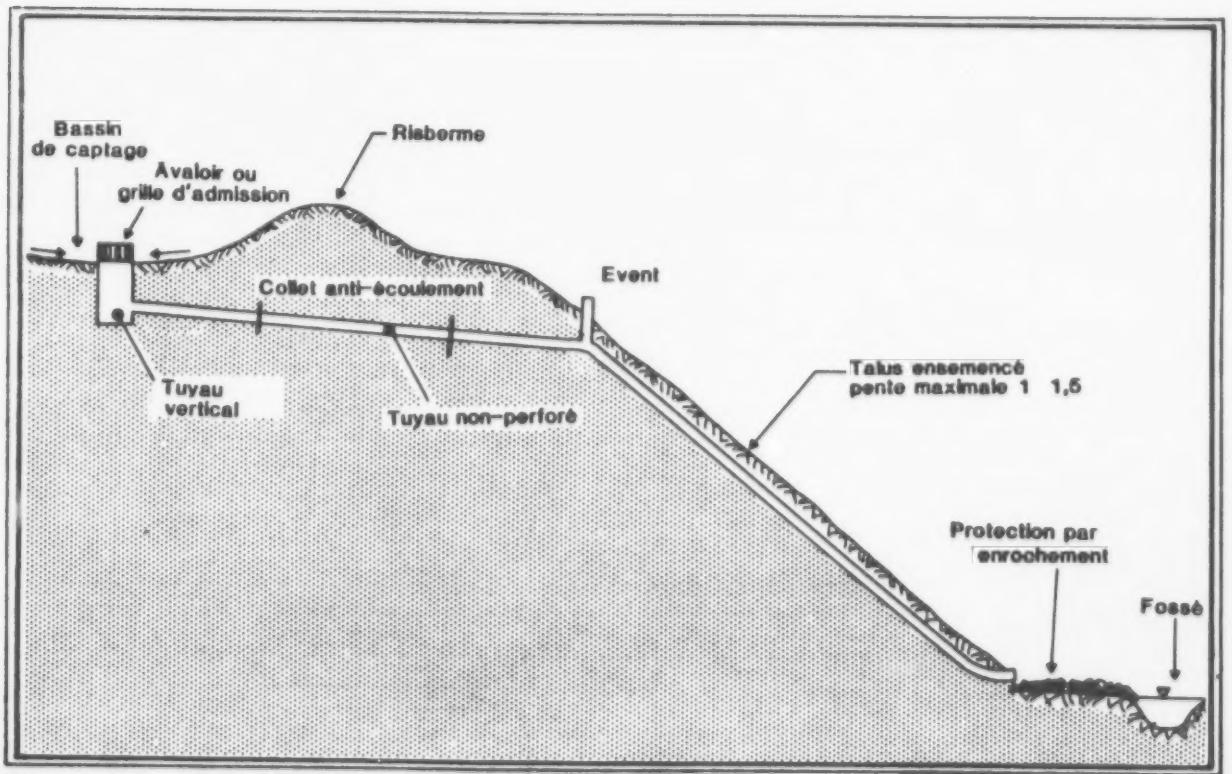


Figure 9.2 STRUCTURE DE CAPTAGE ET D'ÉVACUATION DE L'EAU DE SURFACE

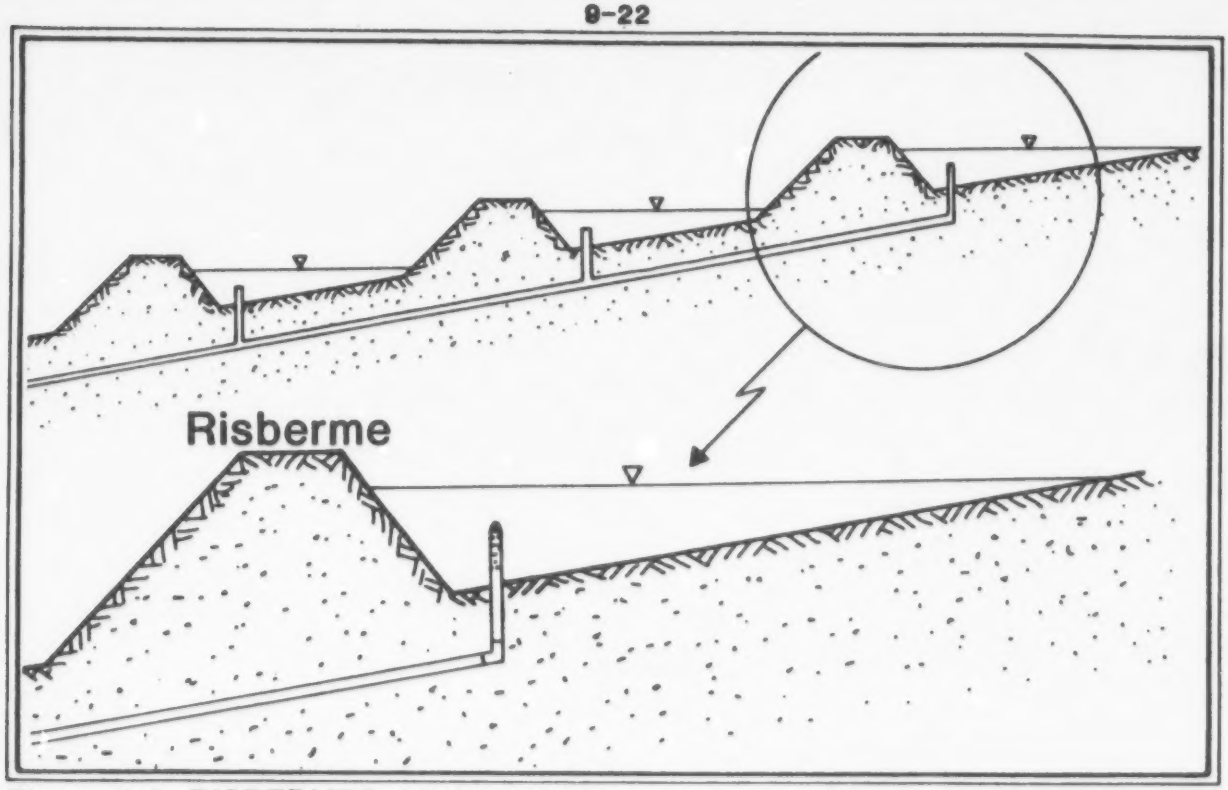


Figure 9.3 RISBERMES DE RETENUE

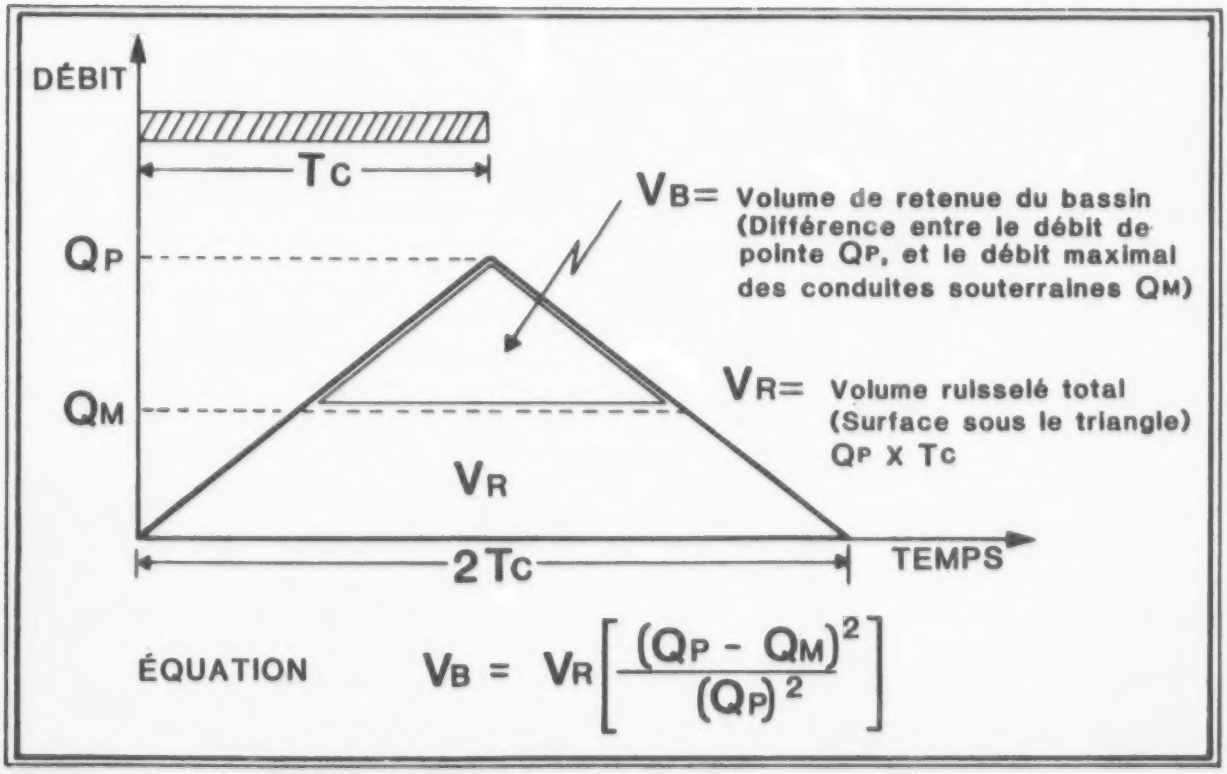


Figure 9.4 VOLUME DE RETENUE DU BASSIN (Voir annexe A-9)

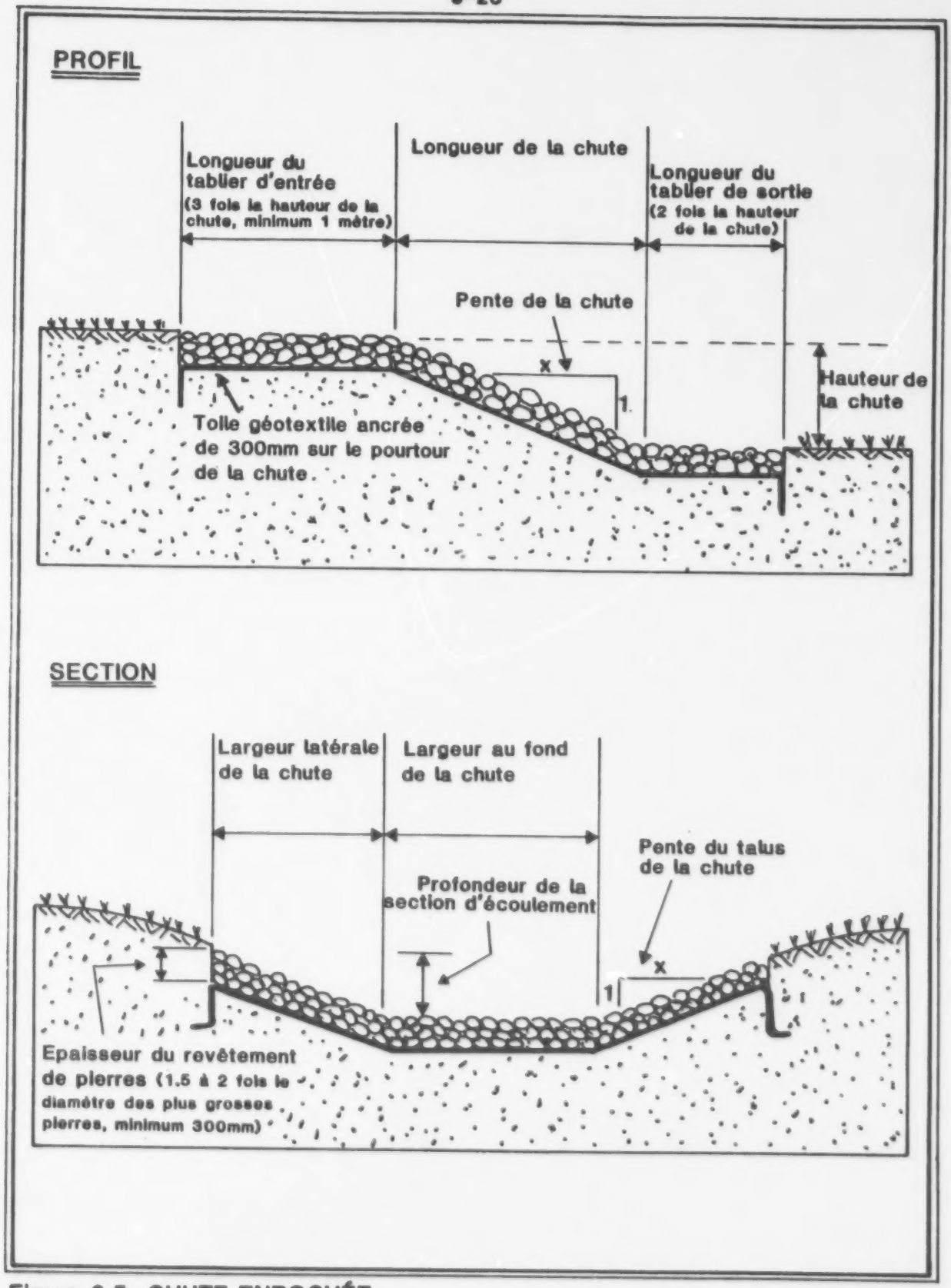
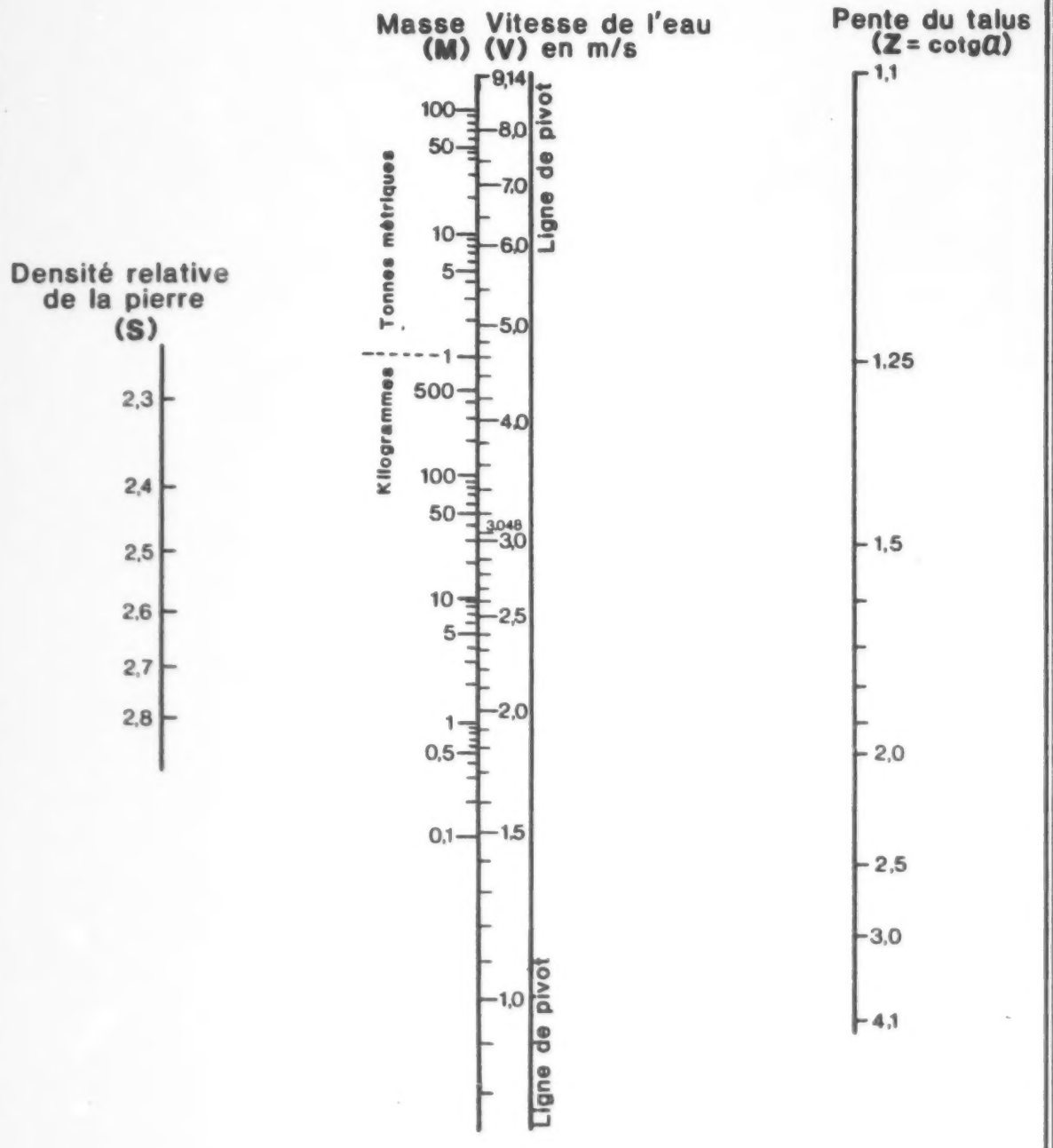


Figure 9.5 CHUTE ENROCHÉE



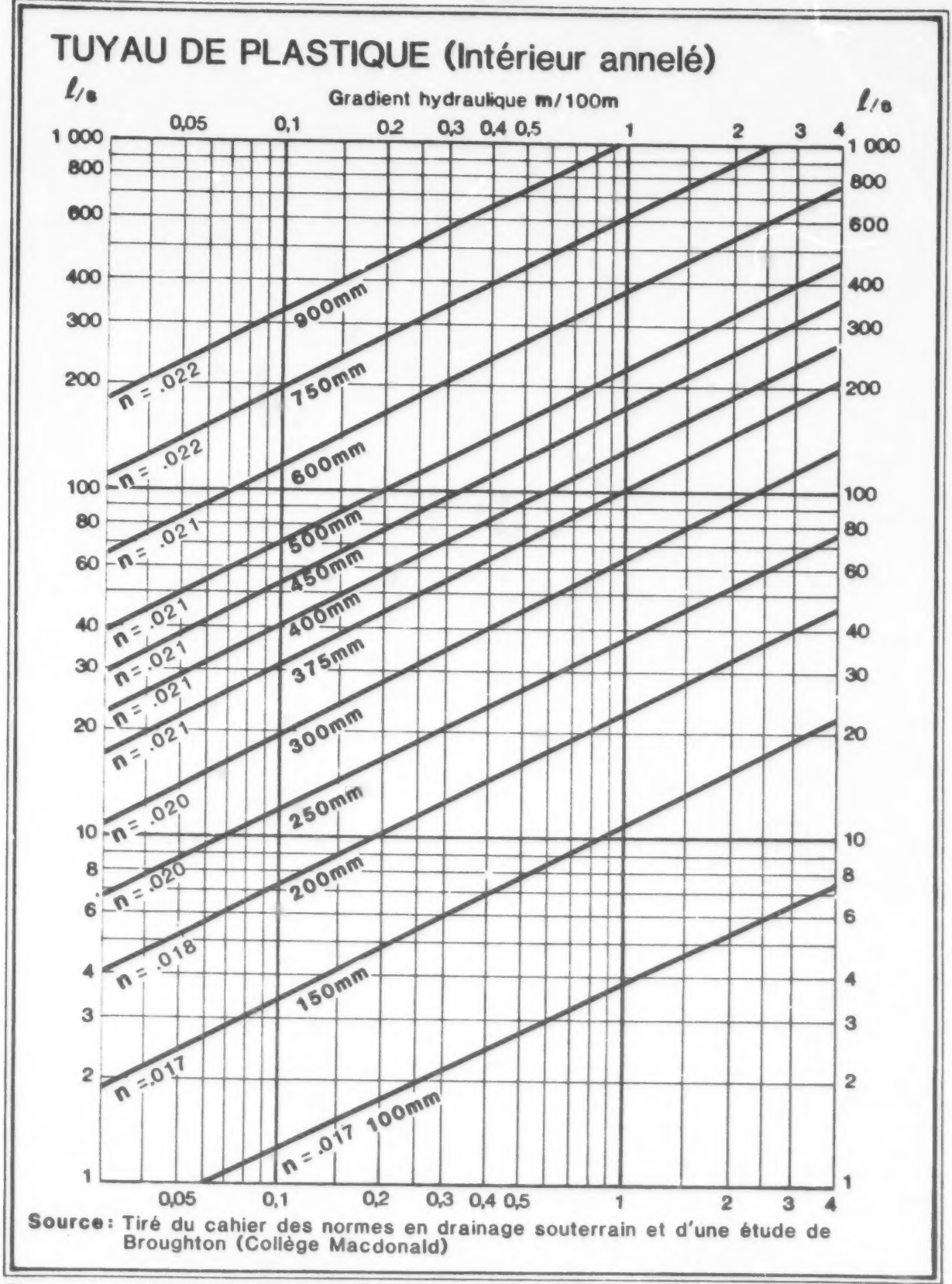
$$M = \frac{0{,}0114\ V^6 S\ \csc^3(\theta - \alpha)}{(S-1)^3}$$

θ { = constante
= 70° pour pierre dynamitée

M = Masse critique des enrochements
(Les 2/3 des pierres doivent être plus lourdes).

SOURCE Hydraulique fluviale (notes de cours)
M. Frenette, Université Laval.

Figure 9.6 NOMOGRAMME DE CALCUL DE LA GROSSEUR MINIMALE DES PIERRES DE PROTECTION



Source: Tiré du cahier des normes en drainage souterrain et d'une étude de Broughton (Collège Macdonald)

Figure 9.7 NOMOGRAMME DE CALCUL DES DÉBITS DES TUYAUX À INTÉRIEUR ANNELÉ, EN PLASTIQUE.

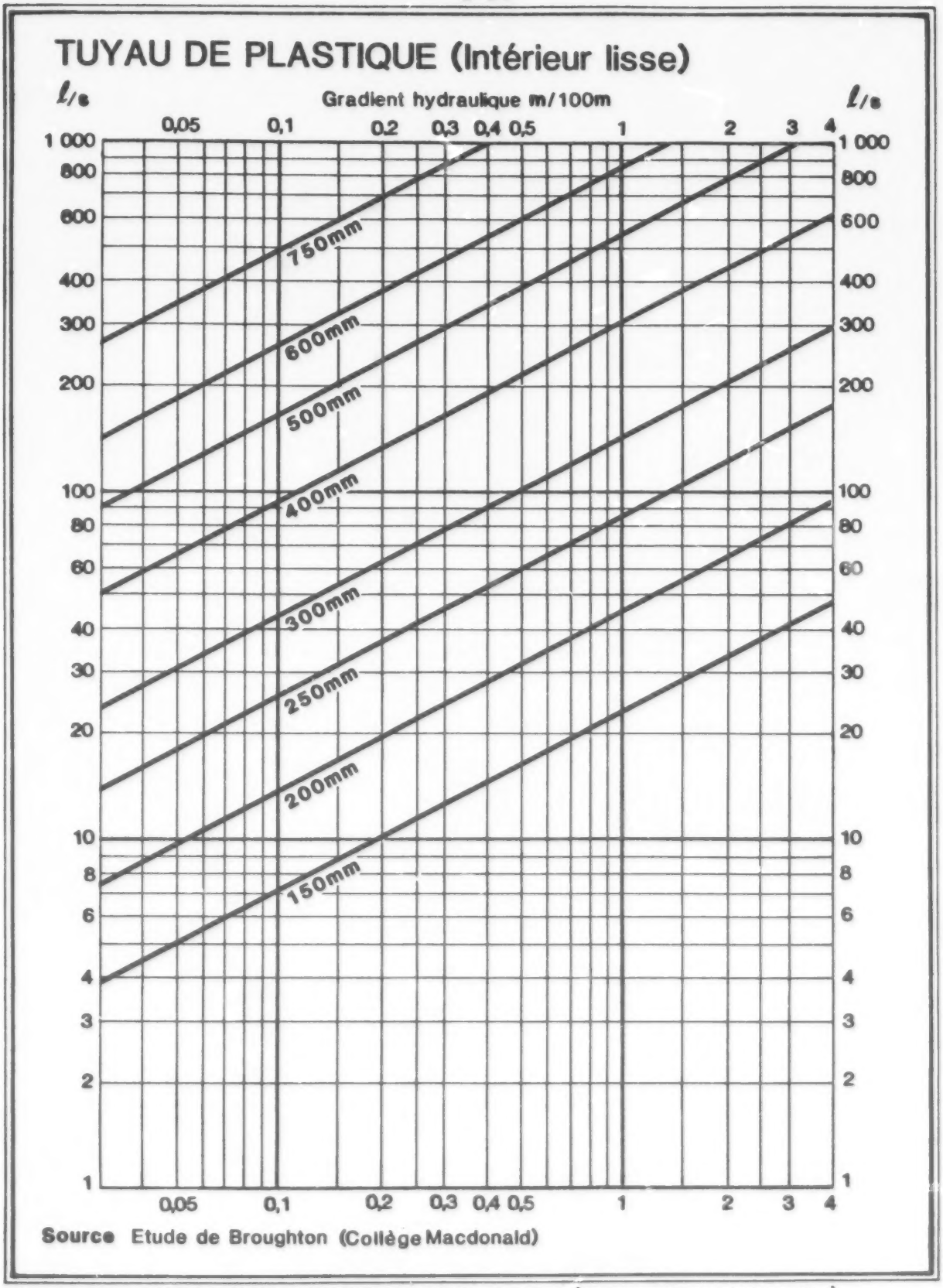


Figure 9.8 NOMOGRAMME DE CALCUL DES DÉBITS DES TUYAUX À INTÉRIEUR LISSE, EN PLASTIQUE. n=.009.

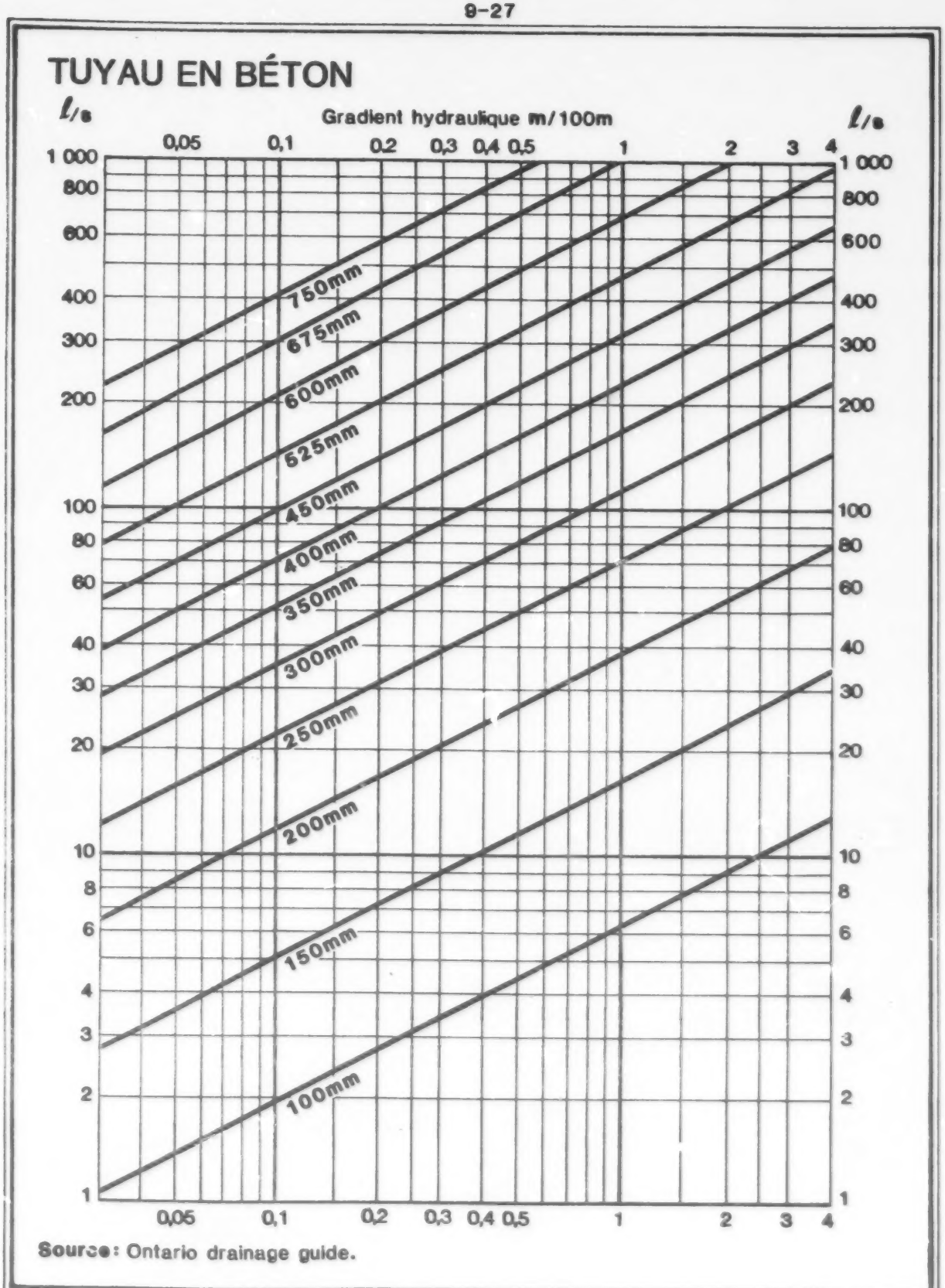


Figure 9.9 NOMOGRAMME DE CALCUL DES DÉBITS DES TUYAUX EN BÉTON. n=.011

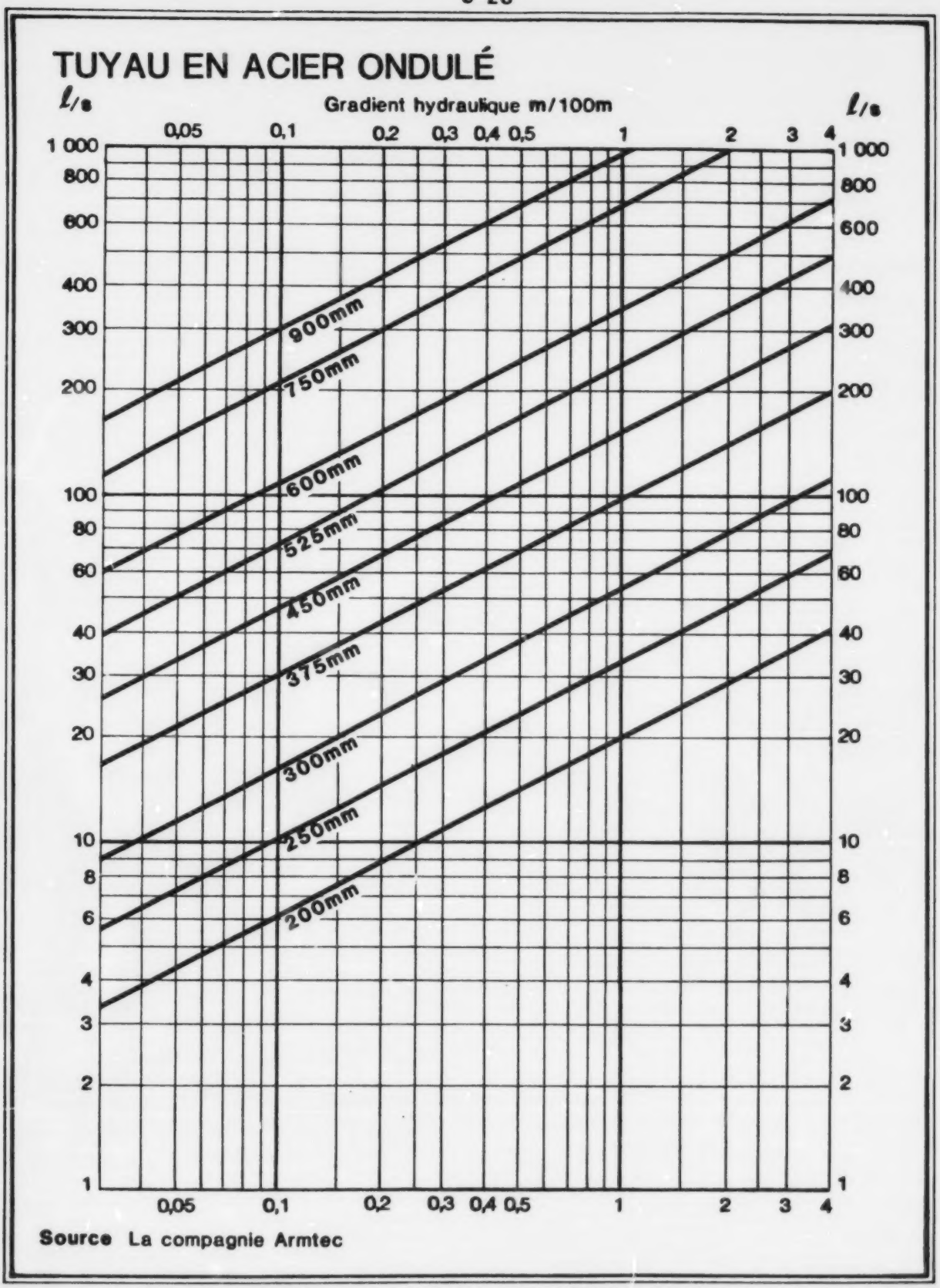
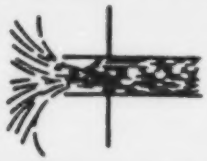
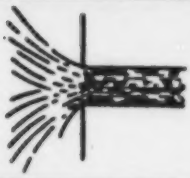
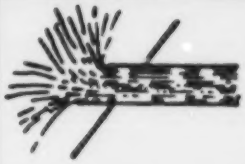
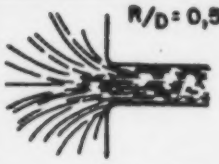
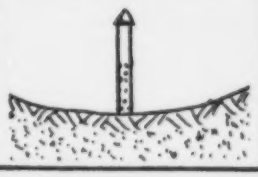
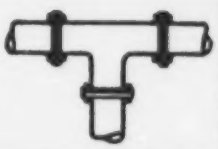


Figure 9.10 NOMOGRAMME DE CALCUL DES DÉBITS DES TUYAUX EN ACIER. n = .024

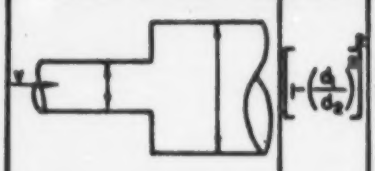
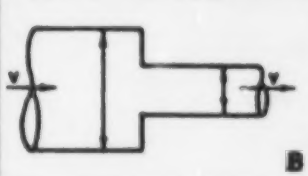
ENTRÉE DES CONDUITES

EN SAILLIE	Ke	AVEC MUR DE TÊTE	Ke	EN BISEAU	Ke
	0,90		0,50		0,70
LÉGEREMENT ARRONDIE	**Ke**	**FORTEMENT ARRONDIE**	**Ke**	**AVALOIR SURÉLEVÉ**	**Ke**
	0,23		0,04		1,70

COUDES DANS LES CONDUITES

TOURNANT À 180°	Kb	RACCORD EN TÉ	Kb	TOURNANT À 90°	Kb
	2,20		1,80		0,90
COUDE A LONG RAYON	**Kb**	**COUDE A 45°**			**Kb**
	0,60				0,42

ÉLARGISSEMENT ET RÉTRÉCISSEMENT

ÉLARGISSEMENT SOUDAIN	Kse	ÉLARGISSEMENT GRADUEL	RÉTRÉCISSEMENT SOUDAIN
	$\left[1-\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\right]^2$		

FACTEUR K POUR A & B VOIR :

SOURCE : HANDBOOK OF HYDRAULICS (4ª EDITION)
PAR H.W. KING
PAGES: 6 - 18

Figure 9.11 COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE POUR LES ENTRÉES DES CONDUITES, ET LES COUDES.

ANNEXE A-9

CALCUL DU VOLUME D'EAU D'UN BASSIN DE CAPTAGE

BULLETIN TECHNIQUE

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Agriculture
des Pêcheries et de l'Alimentation
Direction de la recherche et du développement

Service du génie

CALCUL DU VOLUME D'EAU D'UN BASSIN DE CAPTAGE (Une approche simplifiée à valider)

Par: Mario Laroche ingénieur, M.Sc.

INTRODUCTION

Un bassin de captage peut être défini sommairement comme étant un réservoir construit de façon à recevoir un volume d'eau donné provenant d'un bassin versant. Le bassin de captage dans un système de contrôle de l'eau sert de zone tampon entre le débit provenant d'un bassin versant et le débit sortant d'une structure d'évacuation de l'eau telle qu'un avaloir.

Le concept proposé pour calculer le volume d'eau d'un bassin de captage est basé sur l'utilisation de la version 3 du «Logiciel sur l'évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants» [2]. Les résultats obtenus par le logiciel pour la méthode rationnelle avec un temps de concentration calculé selon Mockus sont les éléments de base servant au dimensionnement du bassin de captage.

Le concept est une approche simplifiée d'un phénomène complexe. Cette approche simplifiée a l'avantage de conduire à une méthode de calcul rapide donnant un ordre de grandeur des valeurs recherchées. Le concept repose sur les hypothèses suivantes:

1 - Application de la méthode rationnelle en considérant une pluie maximale probable d'une durée égale au temps de concentration du bassin versant [4].

2 - Débit entrant dans le bassin de captage suivant l'hydrogramme théorique de la méthode rationnelle [1], [6].

3 - Débit sortant du bassin de captage suivant un taux moyen constant. On considère au début que le débit qui sort du bassin suit le débit qui entre dans le bassin. On considère à la fin que l'eau contenue dans le bassin de captage se résorbe suivant la même pente de décrue que celle de l'hydrogramme du bassin versant.

1 - SCHÉMA DU SYSTÈME BASSIN DE CAPTAGE ET BASSIN VERSANT

La figure 1 montre les relations entre le bassin de captage et le bassin versant. L'exutoire du bassin versant se déverse dans le bassin de captage. La sortie de l'eau du bassin de captage est contrôlée par une structure d'évacuation (avaloir, conduite souterraine ou autre).

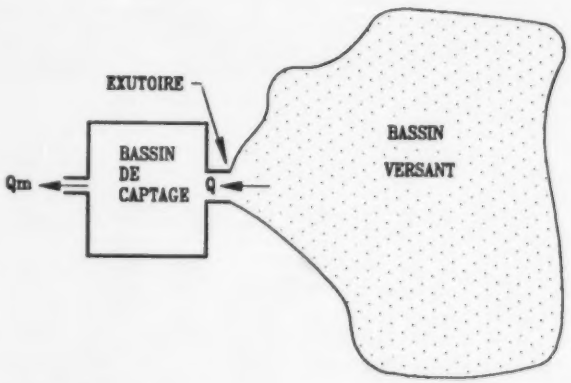


Figure 1: Schéma du système bassin de captage et bassin versant

On suppose que la structure d'évacuation évacue l'eau à un débit moyen constant que l'on appelle Qm. Le débit Q est le débit d'arrivée au bassin de captage provenant du bassin versant. Si Q est plus petit que Qm, il n'y a pas d'accumulation. Si Q est plus grand que Qm, alors il y aura accumulation d'eau dans le bassin de captage. Le débit Q varie en fonction du temps suivant l'hydrogramme théorique de la méthode rationnelle.

2 - HYDROGRAMME THÉORIQUE DE LA MÉTHODE RATIONNELLE

L'hydrogramme est un graphique représentant le débit à l'exutoire d'un bassin versant en fonction du

temps. La figure 2 montre l'hydrogramme théorique de la méthode rationnelle [1], [6], suivant l'hypothèse que la durée de la pluie est égale au temps de concentration du bassin versant.

Le débit de pointe Qp représente le débit maximal instantané observé à l'exutoire du bassin versant. Le temps de concentration Tc est la période de cheminement d'une goutte d'eau entre le point le plus éloigné hydrauliquement et l'exutoire. Lorsque le temps de concentration est atteint, toute la superficie du bassin versant contribue à alimenter le débit à l'exutoire et le débit de pointe est alors atteint.

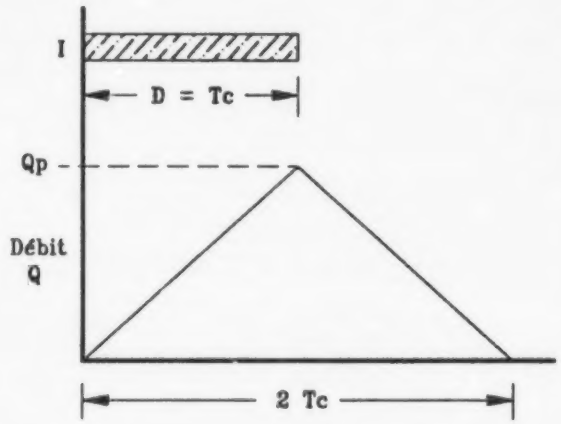


Figure 2: Hydrogramme théorique de la méthode rationnelle

I : Intensité de la précipitation
D : Durée de la précipitation
Qp : Débit de pointe
Tc : Temps de concentration

Les hypothèses qui sous-tendent la méthode rationnelle sont:

1 - Une intensité de précipitation constante et uniforme sur toute la superficie du bassin versant.

2 - Une intensité de précipitation égale à une pluie maximale probable d'une durée D égale au temps de concentration Tc du bassin versant.

3 - Un coefficient de ruissellement pondéré et constant sur toute la surface du bassin versant.

4 - Un débit de pointe de récurrence donnée engendré par une pluie maximale probable de même récurrence.

3 - REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU VOLUME D'EAU DU BASSIN DE CAPTAGE

Le volume d'eau du bassin de captage est déterminé à partir de l'hydrogramme théorique de la méthode rationnelle. En supposant un débit Qm, correspondant au débit moyen constant d'une structure d'évacuation, le volume du bassin de captage nécessaire pour contenir le volume ruisselé excédentaire, provoqué par le débit de pointe Qp, est représenté par la surface du petit triangle Vb montré à la figure 3.

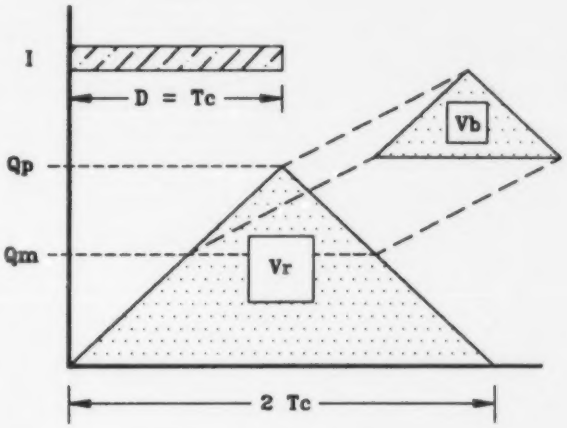


Figure 3: Volume d'eau du bassin de captage

Qm : Débit moyen constant d'évacuation
Vr : Volume total d'eau ruisselée (surface sous l'hydrogramme)
Vb : Volume d'eau du bassin de captage (surface du petit triangle)

4 - CALCUL DU VOLUME D'EAU DU BASSIN DE CAPTAGE

Le volume d'eau du bassin de captage est représenté par la surface du petit triangle sur l'hydrogramme théorique de la méthode rationnelle. Le calcul du volume d'eau du bassin Vb passe par le calcul de la surface de ce petit triangle. La figure 4 résume les éléments de calcul de cette surface.

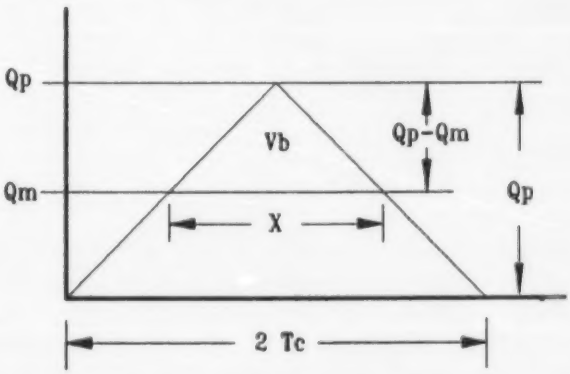


Figure 4: Éléments de calcul du volume d'eau du bassin de captage

La surface sous l'hydrogramme représente Vr le volume total d'eau ruisselée. Cette surface est celle du grand triangle et se calcule comme suit:

$$Vr = \frac{2\ Tc\ Qp}{2} = Tc\ Qp \quad (1)$$

Le volume d'eau du bassin de captage est donné par l'aire du petit triangle et se calcule comme suit:

$$Vb = \frac{X\ (Qp-Qm)}{2} \quad (2)$$

X est la base du petit triangle. La valeur de X peut s'exprimer en fonction des autres éléments par une relation proportionnelle basée sur la théorie des triangles semblables, de sorte que:

$$\begin{array}{ll} X & \text{-----> } 2\ Tc \\ (Qp-Qm) & \text{------> } Qp \end{array}$$

d'où

$$X = \frac{2\ Tc\ (Qp-Qm)}{Qp} \quad (3)$$

En remplaçant X de l'équation (2) par sa valeur définie dans l'équation (3), on obtient le volume d'eau du bassin de captage par l'expression suivante:

$$Vb = \frac{Tc\ (Qp-Qm)^2}{Qp} \quad (4)$$

Dans l'équation (4) remplaçons Tc par sa valeur définie dans l'équation (1) , on retrouve sous une autre forme le volume d'eau du bassin de captage:

$$Vb = \frac{Vr\ (Qp-Qm)^2}{Qp^2} \quad (5)$$

5 - CALCUL DU TEMPS DE PASSAGE DE L'EAU DANS LE BASSIN DE CAPTAGE

Il peut être intéressant de déterminer le temps de passage de l'eau dans le bassin de captage. Le calcul de ce temps se fait à partir de l'hydrogramme de la figure 2. On suppose que le bassin de captage se videra en suivant la même pente de régression que celle de l'hydrogramme théorique de la méthode rationnelle. Cette dernière hypothèse est très contestable, mais elle a l'avantage d'être générale et indépendante de la structure particulière d'évacuation de l'eau qui sera choisie. Il faudra toujours avoir à l'esprit que le temps de passage, calculé suivant cette hypothèse, donne un ordre de grandeur pour un premier calcul. Un calcul plus précis pourrait être fait à partir de l'hydrogramme réel de la structure d'évacuation de l'eau et la géométrie du bassin de captage, si ceux-ci étaient connus. La figure 5 présente sous forme graphique le temps T nécessaire pour vider le bassin de captage.

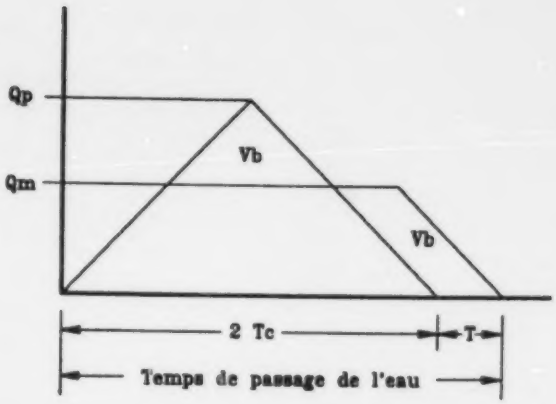


Figure 5: Temps de passage de l'eau dans le bassin de captage

La surface du parallélogramme représente le volume Vb du bassin de captage qui doit être vidé de son eau. Le temps T mis pour vider le bassin de captage se calcule à partir de la surface du parallélogramme:

$$Vb = Qm\ T \quad (6)$$

d'où

$$T = \frac{Vb}{Qm} \quad (7)$$

Le temps de passage de l'eau Tp dans le bassin de captage s'exprime alors comme suit:

$$Tp = 2\ Tc + T \quad (8)$$

où encore:

$$Tp = 2\ Tc + \frac{Vb}{Qm} \quad (9)$$

6 - DISCUSSION SUR LE CONCEPT PROPOSÉ

Comme il a été mentionné précédemment, le concept proposé est une approche simplifiée d'un phénomène complexe. Quelles sont les implications de cette simplification par rapport à ce qui peut se passer réellement? Examinons deux des hypothèses les plus contestables.

6.1 - Pluie d'une durée égale au temps de concentration

Une des hypothèses avancées dans le concept est celle considérant une durée de pluie égale au temps de concentration du bassin versant. Cette hypothèse est-elle satisfaisante? Une pluie d'une durée plus grande que le temps de concentration exigera-t-elle un plus grand bassin de captage? La figure 6 montre graphiquement ce qui se passe lorsque la durée de la pluie D est plus

grande que le temps de concentration Tc du bassin versant en comparaison avec le concept proposé.

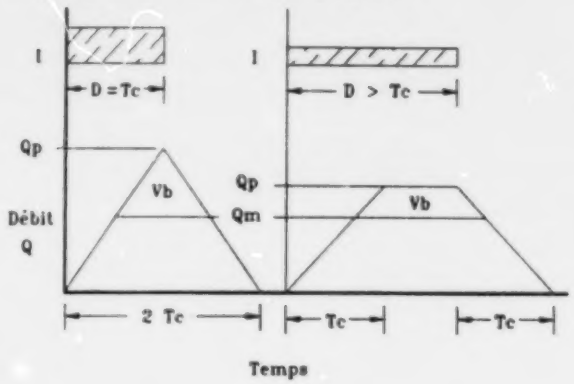


Figure 6: Hydrogrammes théoriques de la méthode rationnelle suivant la durée de la pluie

En examinant la figure 6, on remarque que l'intensité de la pluie I diminue si D > Tc. De ce fait, le débit de pointe Qp est plus petit que celui calculé avec D = Tc (formule rationnelle: Qp = C I A / 360) [4]. Lorsque la durée de la pluie D est plus grande que Tc, on observe un plafonnement de Qp au temps Tc. Par la suite, le débit de pointe Qp demeure constant aussi longtemps que dure la pluie, soit jusqu'au temps D.

Dans le premier cas, lorsque D = Tc, le volume du bassin de captage est représenté par la surface du petit triangle. Dans le deuxième cas, lorsque D > Tc, le volume du bassin de captage est représenté par la surface du petit trapèze. Cette dernière surface est plus grande que celle du petit triangle lorsque D, la durée de la pluie, tout en étant plus grande que le temps de concentration, n'est pas trop longue. Cette différence entre les deux surfaces varie en fonction de l'écart entre Qp et Qm. Plus D, la durée de la pluie, est grande, plus le débit de pointe Qp diminue de sorte que l'écart entre Qp et Qm s'amenuise. On a alors une surface du petit trapèze plus petite que celle du petit triangle.

Compte tenu que la méthode rationnelle a tendance à surévaluer les débits de pointe et que cette méthode est un modèle très simpliste de ce qui peut se passer réellement sur un bassin versant, je ne crois pas que l'on doive rechercher la plus grande valeur de Vb. Il ne faut pas oublier que l'une des hypothèses de la méthode rationnelle est que l'intensité de la pluie est constante sur tout le bassin versant durant toute la durée de l'averse. Cette dernière hypothèse est plus que contestable à mesure que D augmente.

6.2 - Hydrogramme de la structure d'évacuation de l'eau

Le calcul du temps de passage de l'eau dans le bassin de captage est basé sur un hydrogramme simplifié d'une structure d'évacuation de l'eau, à laquelle on a fixé un débit moyen constant Qm. La figure 7 montre cet hydrogramme simplifié.

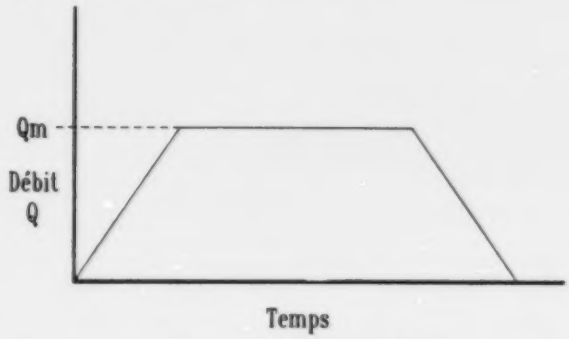


Figure 7: Hydrogramme simplifié de la structure d'évacuation de l'eau du bassin de captage

La forme de l'hydrogramme simplifié peut ne pas correspondre à ce que l'on pourrait mesurer en nature. Toutefois, le but du calcul étant d'évaluer le temps de passage de l'eau dans le bassin de captage, on constate que l'hydrogramme simplifié a comme conséquence de surévaluer ce temps. Cette façon de calculer est sécuritaire et convient pour une première évaluation.

7 - EXEMPLE DE CALCUL

On désire installer un avaloir au bout d'une rigole qui se jette dans un cours d'eau. Cette rigole draine les versants de deux demi-planches. La superficie drainée par la rigole est de 1,07 ha. On prévoit aménager un avaloir relié à une conduite de 100 mm de diamètre et ayant une pente de 2,5%. Après aménagement de l'avaloir et tenant compte de la pente de la rigole et de la topographie du terrain, on calcule que le volume disponible pour l'accumulation d'eau est de 110 m^3.

Il faut calculer le volume du bassin de captage nécessaire pour contenir une pluie d'une récurrence de 10 ans et d'une durée égale au temps de concentration du bassin versant et calculer le temps de passage de l'eau dans le bassin de captage à partir des informations que l'on peut obtenir de la version 3 du «Logiciel sur l'évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants» [2]. Finalement, il faut comparer le volume calculé au volume disponible de 110 m^3.

7.1 - Données de base sur le bassin versant

Le bassin versant fait partie du lot 8 du cours d'eau Paradis et la rigole se jette au kilomètre 1+025 du cours d'eau. Les caractéristiques physiographiques et hydrologiques du bassin versant se résument comme suit:

Superficie du bassin versant (km^2)	: 0,0107
Pente moyenne (85-10) du bassin versant (m/m)	: 0,009
Longueur maximale du parcours de l'eau (m)	: 470
Pourcentage de surface boisée (%)	: 0

Caractéristiques pour le calcul du numéro de courbe pondéré:

Culture extensive	: 100%
Pente moyenne	: <3%
Condition hydrologique	: moyenne
Classe de sol	: C

Précipitations pour la région de Montmagny (pluies maximales probables d'une durée de 6 heures):

Récurrence (ans)	Hauteur d'eau (mm)
2	37
5	48
10	56
25	66
50	71
100	78

Pour la saisie des données, utilisez le logiciel mentionné plus haut et référez-vous au volume intitulé: «Les cours d'eau en milieu agricole, design et conception assistés par ordinateur, tome 1: logiciel sur l'évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants, 2ième édition» [2].

7.2 - Temps de concentration et débit de pointe

Suite à la saisie des données, on obtient l'écran 1 montrant les résultats des temps de concentration et des débits de pointe calculés.

EVALUATION DES DEBITS DE POINTE EN METRES CUBES PAR SECONDE

Période de retour	Coef. de ruiss.	Temps de concentration en heures: Kirpich (0.23) Méthode		Brans.-Vill. (0.45) Méthode		Mockus (0.98) Méthode		6.00 heures Méthode	
		Ratio.	SCS	Ratio.	SCS	Ratio.	SCS	Ratio.	SCS
2	SCS	0.06	0.00	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
5	SCS	0.08	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02
10	SCS	0.09	0.01	0.06	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02
25	SCS	0.11	0.01	0.07	0.01	0.05	0.02	0.01	0.03
50	SCS	0.12	0.01	0.08	0.01	0.05	0.02	0.01	0.03
100	SCS	0.14	0.01	0.09	0.01	0.05	0.02	0.02	0.03

Méthode Fugere (m3/s)	Bon drainage	Tres bon drainage	Excellent drainage
	0.00	0.00	0.01

Voulez-vous une copie sur imprimante (O/N): N

Écran 1: Sommaire des résultats fournis par le logiciel

De l'écran 1, on retient les informations suivantes:

Temps de concentration calculé selon Mockus:

Tc = 0,98 h

Débit de pointe calculé selon la méthode rationnelle pour une période de retour de 10 ans, un temps de concentration selon Mockus et un coefficient de ruissellement calculé suivant SCS [5]:

Qp = 0,04 m^3/s.

À partir de l'écran 1, il faut maintenant calculer le volume total d'eau ruisselée Vr pour l'événement hydrologique du projet.

7.3 - Volume d'eau ruisselée

En répondant N à la question «Voulez-vous une copie sur imprimante (O/N):», on obtient l'écran 2.

```
Choisir une des options suivantes


1 - Changer un ou plusieurs parametres et refaire un calcul

2 - Tracer le graphique representant
      les debits de pointe (methodes SCS et rationnelle) en fonction
      du temps de concentration

3 - Enregistrement sur fichier des donnees relatives a ce cours d'eau

4 - Calcul du volume d'eau ruisselee pour une duree de pluie egale
    au temps de concentration de reference

5 - Fin du programme

Votre choix: 1
```

Écran 2: Choix des options possibles

Le choix est 1 et non 4 directement, parce que le temps de concentration de référence est de 6 heures selon l'écran 1. Il faut alors modifier le temps de concentration de référence pour l'ajuster au temps de concentration calculé selon Mockus. Cela conduit à l'écran 3.

```
1 - Nom du cours d'eau ou emissaire:                    (1st 8 du cours d'eau)
2 - Numero de dossier:                                  (3521)
3 - Commentaires sur ce calcul:                         (Embouchure au Ch. 1+)
4 - Superficie du bassin versant:                       (0.0107)
5 - Pente du bassin versant:                            (0.005)
6 - Longueur maximale du parcours de l'eau:             (470)
7 - Surface boisee dans le bassin versant:              (0)
8 - Principales cultures dans le bassin versant :       ()
9 - Principales textures de sol du bassin versant:      ()
10- Calcul du coefficient de ruissellement : (Wischmeier) ( 0)
11- Calcul du coefficient de ruissellement : (SCS)      (CN = 72)
12- Temps de concentration de reference (h):            ( 6 )
13- Donnees sur les precipitations (pluies de 6 heures):

14- Fin des corrections et retour aux calculs:


Votre choix: 12
```

Écran 3: Choix des corrections possibles

Le choix est 12 pour modifier le temps de concentration de référence, ce qui nous amène à l'écran 4.

```
Temps de concentration de reference (h): 0.98
```

Écran 4: Saisie du temps de concentration de référence

Pour cet exemple, le temps de concentration de référence doit être de 0,98 h, soit le temps calculé selon la formule de Mockus. Après cette saisie, on revient à l'écran 5.

```
1 - Nom du cours d'eau ou emissaire:                    (Lot 8 du cours d'eau)
2 - Numero de dossier:                                  (3521)
3 - Commentaires sur ce calcul:                         (Embouchure au Ch. 1+)
4 - Superficie du bassin versant:                       (0.0107)
5 - Pente du bassin versant:                            (0.005)
6 - Longueur maximale du parcours de l'eau:             (470)
7 - Surface boisee dans le bassin versant:              (0)
8 - Principales cultures dans le bassin versant :       ()
9 - Principales textures de sol du bassin versant:      ()
10- Calcul du coefficient de ruissellement : (Mischwier) ( 0)
11- Calcul du coefficient de ruissellement : (SCS)       (CN = 72)
12- Temps de concentration de reference (h):             ( .98 )
13- Donnees sur les precipitations (pluies de 6 heures):

14- Fin des corrections et retour aux calculs:

Votre choix: 14
```

Écran 5: Choix des corrections possibles

Sur l'écran 5, on remarque que le temps de concentration de référence a bien été saisi. Le choix est 14 pour mettre fin aux corrections et retourner aux calculs, conduisant alors à l'écran 6.

EVALUATION DES DEBITS DE POINTE EN METRES CUBES PAR SECONDE

Période de retour	Coef. de ruiss.	Temps de concentration en heures: Kirpich 0.23 Méthode Ratio.	SCS	Brano.-Mill. 0.45 Méthode Ratio.	SCS	Mockus 0.98 Méthode Ratio.	SCS	0.98 heures Méthode Ratio.	SCS
2	SCS	0.06	0.00	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01
5	SCS	0.00	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01
10	SCS	0.09	0.01	0.06	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01
25	SCS	0.11	0.01	0.07	0.01	0.05	0.02	0.05	0.01
50	SCS	0.12	0.01	0.00	0.01	0.05	0.02	0.05	0.02
100	SCS	0.14	0.01	0.09	0.01	0.05	0.02	0.05	0.02

Méthode figure (m3/s)	Bon drainage 0.00	Tres bon drainage 0.00	Excellent drainage 0.01

Voulez-vous une copie sur imprimante (O/N): N

Écran 6: Résultats des calculs suite aux corrections

En répondant N pour non à la question «Voulez-vous une copie sur imprimante (O/N):», on revient à l'écran 7.

```
Choisir une des options suivantes

1 - Changer un ou plusieurs parametres et refaire un calcul

2 - Tracer le graphique representant
      les debits de pointe (methodes SCS et rationnelle) en fonction
      du temps de concentration

3 - Enregistrement sur fichier des donnees relatives a ce cours d'eau

4 - Calcul du volume d'eau ruisselee pour une duree de pluie egale
    au temps de concentration de reference

5 - Fin du programme

Votre choix: 4
```

Écran 7: Choix des options possibles

Le choix est alors 4 pour connaître le volume total d'eau ruisselée d'une pluie maximale probable d'une durée de 0,98 h. On obtient alors l'écran 8.

Volume d'eau ruisselee pour une duree de pluie
egale au temps de concentration (Tc) de reference: .98 h

Recurrence (ans)	Hauteur d'eau precipitee Hc (mm)	Coefficient de ruissellement	Volume d'eau ruisselee (m3)
2	22.5	(SCS) 0.36	87.5
5	29.1	(SCS) 0.37	115.9
10	34.0	(SCS) 0.38	136.6
25	40.1	(SCS) 0.38	162.4
50	43.1	(SCS) 0.38	175.4
100	47.3	(SCS) 0.38	193.5

Voulez-vous une copie sur imprimante (O/N): N

Écran 8: Volume total d'eau ruisselée

De l'écran 8, on retient l'information suivante: Volume d'eau ruisselée pour une durée de pluie égale à 0,98 h et d'une récurrence de 10 ans:

$$Vr = 136{,}6\ m^3$$

7.4 - Débit moyen constant de la conduite d'évacuation

La structure d'évacuation de l'eau du bassin de captage dans cet exemple est un avaloir. L'avaloir est relié à une conduite de 100 mm de diamètre. Cette conduite a une pente de 2,5%, soit une pente de 2,5 m/100m. On suppose que l'entrée de l'eau dans l'avaloir n'est pas un facteur limitatif et que le débit moyen constant est conditionné par la capacité maximale de la conduite de 100 mm en écoulement libre. Le débit moyen constant de la conduite d'évacuation peut être établi à partir du nomogramme 2 du «Cahier des normes en drainage souterrain» [3]. La figure 8 reproduit une partie de ce nomogramme.

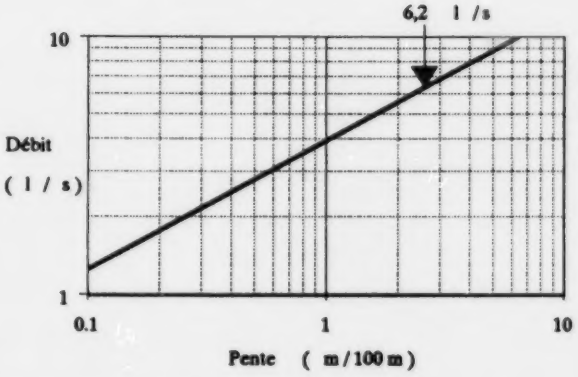


Figure 8: Capacité maximale d'un drain en plastique de 100 mm de diamètre

Pour l'exemple, le débit moyen constant Qm est établi à 6,2 l/s pour une pente de 2,5 m/100m, comme le montre la figure 8.

7.5 - Calcul du volume d'eau du bassin de captage

On a:

$$Qp = 0{,}04\ m^3/s = 40\ l/s$$
$$Vr = 136{,}6\ m^3$$
$$Qm = 6{,}2\ l/s$$

On trouve Vb grâce à l'équation (5):

$$Vb = 136{,}6\ m^3 \frac{(40 - 6{,}2)^2}{(40)^2} = 97{,}5\ m^3$$

7.6 - Calcul du temps de passage de l'eau dans le bassin de captage

On a:

$$Tc = 0{,}98\ h$$
$$Vb = 97{,}5\ m^3$$
$$Qm = 6{,}2\ l/s$$

Il est important que les unités des différents paramètres concordent. Il est donc nécessaire de transformer le débit Qm de l/s en m^3/h. On a alors:

$$Qm = 6{,}2\ l/s = (0{,}0062\ m^3/s)3600\ s/h = 22{,}3\ m^3/h$$

On trouve Tp grâce à l'équation (9):

$$Tp = 2\ (0{,}98)\ h + \frac{97{,}5\ m^3}{22{,}3\ m^3/h} = 6{,}3\ h$$

7.7 - Conclusion à l'exemple de calcul

Les calculs donnent un volume d'eau pour le bassin de captage de 97,5 m^3 et l'on a un volume disponible de 110 m^3. Le système d'évacuation choisi est donc satisfaisant du point de vue espace pour l'eau.

Le temps de passage de l'eau est de 6,3 h dans le bassin de captage. Ce temps peut être assimilé au temps d'inondation du bassin de captage pour une première évaluation. Si la culture peut supporter un temps d'immersion de 6,3 h, alors le système d'évacuation est satisfaisant du point de vue inondation de la culture dans le bassin de captage. Si la culture ne peut supporter ce temps d'immersion, il faudra alors calculer précisément le temps d'inondation en fonction de la géométrie réelle du bassin de captage et du fonctionnement de la structure d'évacuation choisie.

8 - MISE EN GARDE

La première hypothèse du concept proposé considère une durée de pluie égale au temps de concentration du bassin versant. Or, dans certains cas limites, le temps de concentration peut être très court. Dans de tels cas, si le débit moyen constant est très petit, le volume du bassin de captage, ainsi calculé, pourrait s'avérer trop petit pour des durées de pluie supérieures au temps de concentration du bassin versant. Il est donc important de porter un jugement de valeur sur les résultats obtenus en simulant des durées de pluie plus grandes que le temps de concentration. Il est suggéré de refaire les calculs, selon le concept proposé, avec des temps de concentration de référence de 6, 12 et 24 heures puis de compléter un tableau similaire au tableau 1.

TABLEAU 1

TABLEAU DE VÉRIFICATION

Tc* (h)	Qp (l/s)	Qm < Qp (Qm = 6,2 l/s)	Vb (m^3)	Tp (h)
0,98	40	oui	97,5	6,3
6	10	oui	33,3	13,5
12	10	oui	40,5	25,8
24	0**	non	--	--

* Dans ce tableau, Tc (le temps de concentration de référence du logiciel) représente la durée de la pluie.

** Les résultats de débit fournis par le logiciel sont donnés en m^3/s avec une précision au centième. Les valeurs inférieures à 0,005 donnent 0,00.

Le tableau 1 montre que les résultats obtenus dans l'exemple précédent sont acceptables et sécuritaires par rapport à des pluies d'une durée supérieure au temps de concentration. On remarque de plus, qu'il y a vérification de Qm par rapport à Qp. Si Qm est supérieur à Qp, alors les résultats obtenus par les formules (5) et (9) sont rejetées.

Dans les cas où les résultats ne seraient pas satisfaisants pour la pluie d'une durée égale au temps de concentration du bassin versant, le concepteur pourra choisir la durée de la pluie qui répond le mieux à la sécurité qu'il veut donner à son système.

CONCLUSION

Le concept proposé repose sur l'utilisation de la méthode rationnelle. Compte tenu des limites de la méthode rationnelle, le calcul du volume d'eau d'un bassin de captage, suivant cette méthode, devrait se limiter à des bassins versants inférieurs à 1 km^2.

Le calcul du volume d'eau d'un bassin de captage et du temps de passage de l'eau dans ce bassin devient très simple à évaluer grâce à la version 3 du «Logiciel sur l'évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants» [2] et à l'utilisation des deux formules suivantes:

$$Vb = Vr \frac{(Qp - Qm)^2}{Qp^2} \qquad (5)$$

$$Tp = 2\,Tc + \frac{Vb}{Qm} \qquad (9)$$

où

Vb : Volume d'eau du bassin de captage (m^3)
Vr : Volume d'eau ruisselée du bassin versant (m^3)
Qp : Débit de pointe (m^3/s ou l/s)
Qm : Débit moyen constant d'évacuation (m^3/s ou l/s pour l'équation (5) et m^3/h pour l'équation (9))
Tc : Temps de concentration du bassin versant (h)
Tp : Temps de passage de l'eau dans le bassin de captage (h)

Le titre de cette étude mentionne entre parenthèses: «Une approche simplifiée à valider». Cette mention signifie que le concept proposé, qui se veut un outil simple de calcul, n'a pas fait ses preuves et comporte une mise en garde. Suite à l'expérimentation du concept et aux commentaires qui suivront, un logiciel spécifique au calcul du volume d'eau d'un bassin de captage pourra être développé si les besoins l'exigent.

REMERCIEMENTS

En terminant, je tiens à remercier les ingénieurs suivants qui ont étudié et commenté le concept proposé:

Raymond Bernier, ing.
Yvon Brochu, ing.
Georges Lamarre, ing.
Richard Laroche, ing.
Donald Lemelin, ing.
Daniel-Yves Martin, ing.
Denis Naud, ing.

Les commentaires judicieux qu'ils ont apportés lors d'échanges constructifs ont permis de valoriser cette étude.

Finalement, je tiens à souligner le travail de Jacques Champagne, technicien, pour l'édition sur ordinateur de ce premier bulletin technique.

RÉFÉRENCES

[1] GRAY, D.M., Manuel des principes d'hydrologie, Conseil national canadien de la décennie hydrologique internationale, Ottawa, 1972.

[2] LAROCHE, M. et CHAMPAGNE, J., Les cours d'eau en milieu agricole, design et conception assistés par ordinateur, tome 1: logiciel sur l'évaluation des débits de pointe pour les petits bassins versants, 2ième édition, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, août 1989.

[3] M.A.P.A.Q., Cahier des normes en drainage souterrain, Conseil des productions végétales du Québec, Commission de génie rural, 1989.

[4] M.A.P.A.Q., Guide d'analyse et d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles, 2ième édition, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, février 1988.

[5] M.A.P.A.Q., Normes de conception et d'exécution pour les travaux de conservation et gestion du sol et de l'eau, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, avril 1990.

[6] SINGH V. P. et CRUISE J. F., A note on the rational method, Proceedings of the International Conference on Channel Flow and Catchment Runoff: Centennial of Manning's Formula and Kuichling's Rational Formula, 22 au 26 mai 1989, University of Virginia, Department of Civil Engineering, Charlottesville, USA, mai 1989.

Pour toutes informations techniques sur ce sujet, communiquer avec:

Mario Laroche ing., M.Sc.
MAPAQ
Service du génie
1020 route de l'Église, 4e étage
Ste-Foy (Québec)
G1V 4P3
Tél.: (418) 643-2534

ANNEXE B-9

EXEMPLES DE DIMENSIONNEMENT DES CONDUITES

Annexe B-9 Dimensionnement des conduites

Exemple #1

On désire connaître le débit d'eau maximum qui peut transiter par un avaloir surélevé (de type "Hickenbottom") muni d'un orifice de diaphgrame de 93 mm de diamètre. En supposant un contrôle à l'entrée, on propose le dimensionnement de la conduite à partir d'un nomogramme de calcul des débits des tuyaux de plastique à intérieur annelé.

Solution

a) Surface de l'orifice

$D = 93 \text{ mm} = 0{,}093 \text{ m}$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0{,}00679 \text{ m}^2$$

b) Débit maximum à l'orifice

$$Q_{adm} = 2{,}66 \, A \, (H)^{0,5}$$

pour $H = 1{,}0$ m

$$Q_{adm} = 2{,}66 \times 0{,}00679 \times (1)^{0,5} = 0{,}018 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{18{,}0 \text{ l/s}}$$

pour $H = 2{,}0$ m

$$Q_{adm} = 2{,}66 \times 0{,}00679 \times (2)^{0,5} = 0{,}0255 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{25{,}5 \text{ l/s}}$$

c) En choisissant un diamètre de conduite qui peut transiter un débit supérieur ou égal au débit maximal de l'admission, on s'assure que la conduite fonctionne en écoulement libre.

A partir du nomogramme pour les conduites en plastique annelé (figure 9.7), on trace une droite horizontale vis-à-vis du débit

maximum de l'admission et on sélectionne le diamètre de la conduite en fonction de la pente.

Par exemple, pour H = 1,0 m, il faudrait une conduite de 200 mm pour une pente de 0,4 à 0,5%. Pour H = 2,0 m, il faudrait une conduite de 200 mm pour une pente de 1%. Chaque intersection de la droite avec les courbes de débit constitue une solution possible.

Exemple #2

A partir de l'exemple précédent (avaloir surélevé, diaphragme de 93 mm, tête d'eau H = 2,0 m, Qadm = 25,5 l/s, on désire dimensionner le diamètre d'une conduite souterraine en béton. La conduite mesure 500 mètres de longueur et présente une pente de 1,0%. Quel serait le diamètre d'une conduite en plastique annelé dans les mêmes conditions?

Solution

a) La différence d'élévation totale H_t entre la ligne d'eau dans le bassin et l'exutoire de la conduite est de 7 m (H = 2,0 m + 500 m x 1,0%).

b) Si on suppose une conduite en béton de 150 mm de diamètre, le débit maximal de la conduite serait de:

$$Q_{cond} = \frac{A \ (2g \ H_t)^{0,5}}{(1+ Ke+K_cL)^{0,5}}$$

K_e (avaloir) = 1,7 (figure 9.11)

D_c = 0,150 m $\qquad$ n = 0,011

$$K_c = \frac{125 \ (0,011)^2}{(0,150)^{1,33}} = 0,18965$$

$$A_c = \frac{\pi D_c^2}{4} = 0{,}01767 \text{ m}^2$$

$$Q_{cond} = \frac{0{,}01767\ (2 \times 9{,}8 \times 7)^{0,5}}{[1 + 1.7 + (0{,}18965 \times 500)]^{0,5}} = \underline{0{,}0209 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Donc

$Q_{cond} = 20{,}9$ l/s

et

$Q_{adm} = 25{,}5$ l/s

N.B.: **Il y a contrôle à la sortie** car $Q_{cond} < Q_{adm}$
Il faudrait prévoir des joints étanches car la conduite fonctionnera en charge.

c) Si on suppose une conduite en plastique annelé de 200 mm de diamètre, le débit maximum de la conduite serait de:

$K_e = 1{,}7$

$D_c = 0{,}200$ mm $\quad n = 0{,}018$

$$K_c = \frac{125\ (0{,}018)^2}{(0{,}200)^{1,33}} = 0{,}34627$$

$$A_c = \frac{\pi D_c^2}{4} = 0{,}031416 \text{ m}^2$$

$$Q_{cond} = \frac{0{,}031416\ (2 \times 9{,}8 \times 7)^{0,5}}{[1 + 1.7 + (0{,}34627 \times 500)]^{0,5}} = \underline{0{,}0277 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Donc

$Q_{cond} = 27{,}7$ l/s

et

$Q_{adm} = 25{,}5$ l/s

Il y a contrôle à l'entrée
La conduite possède une capacité de débit supérieure au débit permis par les caractéristiques de l'admission.

CHAPITRE 10

STABILISATION DES SITES D'ÉROSION HYDRIQUE

STABILISATION DES SITES D'ÉROSION HYDRIQUE

Auteurs: Richard Laroche, ingénieur et agronome
Gustave Caron, ingénieur
Roch Joncas, ingénieur et agronome
Richard Leblanc, ingénieur et agronome

TABLES DES MATIERES

		PAGE
10.1	Domaine d'application	10-3
10.2	Définitions	10-3
10.2.1	Ravinement	10-3
10.2.2	Glissement de terrain	10-3
10.2.3	Sites sévèrement érodés	10-4
10.3	Préparation du projet	10-4
10.3.1	Identification du problème	10-4
10.3.2	Projet	10-5
10.4	Méthodes d'intervention	10-5
10.4.1	Prévention du ravinement	10-5
10.4.2	Méthodes correctives au ravinement	10-6
10.4.3	Méthodes correctives au glissement de terrain	10-7
10.5	Couverts végétaux de protection contre l'érosion	10-7
10.5.1	Engazonnement	10-7
10.5.2	Plantation d'arbres et d'arbustes	10-8
10.6	Protection au moyen de perrés	10-8
10.7	Suivi et entretien	10-9
Tableau 10.1	Espèces d'arbustes et d'arbres pour plantation des sites sévèrement érodés	10-10

10.0 STABILISATION DES SITES D'ÉROSION HYDRIQUE

10.1 DOMAINE D'APPLICATION

Ce chapitre vise la correction de sites d'érosion ponctuels et localisés en plein champ. Le ravinement et les glissements de terrain sont les mécanismes d'érosion hydrique couverts par ce texte. Des mesures correctives sont prises pour empêcher le déplacement de matériel en vue de protéger les cours d'eau et les lacs contre l'envasement et la sédimentation.

10.2 DÉFINITIONS

10.2.1 RAVINEMENT

L'érosion en ravin résulte de la concentration d'un ruissellement intense et concentré à un même endroit. Les sols à pente prononcée dépourvus de couverture végétale sont les plus sensibles à ce phénomène lors de la fonte des neiges et lors d'orages de forte intensité. Egalement, les sols à texture légère et dont le taux de matière organique est faible (inférieur à 3 pour cent) sont très vulnérables. Le piétinement des animaux et le surpâturage peuvent aussi induire des foyers d'érosion sur les sols sensibles au ravinement.

10.2.2 GLISSEMENT DE TERRAIN

Un glissement de terrain est le déplacement d'une masse de sol plus ou moins importante qui débute généralement par une fissuration selon un plan vertical et qui résulte de forces gravitaires supérieures aux forces de cohésions internes; la face cisaillée

est plane dans les sols pulvérulents (affaissement de sol) ou courbe dans les sols cohésifs (rupture en cercle).

Les glissements de terrain se rencontrent surtout dans les sols argileux à mauvais drainage interne et qui présentent des talus escarpés avec des angles prononcés (supérieurs à 35°).

10.2.3 SITES SÉVEREMENT ÉRODÉS

Ce sont des sites où l'on rencontre des ravins ou des glissements importants formés par une concentration des eaux de ruissellement ayant rendu le site inculte et non accessible ou dangereux pour l'outillage agricole.

10.3 PRÉPARATION DU PROJET

10.3.1 IDENTIFICATION DU PROBLEME

Les glissements de terrain sont difficiles à prévoir et, règle générale, les besoins d'intervention ne se manifesteront qu'après qu'un affaissement avertisseur se sera produit. Avant d'entreprendre tous travaux de correction sur ces sites particuliers, il est recommandé d'obtenir une expertise géotechnique afin de déterminer les angles de stabilité des talus et les mesures de correction nécessaires.

L'expertise géotechnique doit déterminer entre autre la résistance du sol au cisaillement et comporter des tests de sol "triaxiaux". Le test triaxal sert à obtenir la densité du sol (Newtons/m^3), la cohésion

effective C (kPa) et l'angle de friction interne Ø (degrés).

10.3.2 PROJET

Lors de la préparation d'un projet, il faut:

1) vérifier la justification de la demande au point de vue technique, agronomique et économique;
2) procéder à un relevé topographique du terrain;
3) effectuer les tests de sols ou toute autre expertise technique requise;
4) préparer un projet d'intervention incluant plans et devis, choix de la machinerie la plus appropriée et estimation des coûts. On fera appel au type de machinerie qui vibre le moins pour éviter l'affaissement du matériel argileux.

10.4 MÉTHODES D'INTERVENTION

10.4.1 PRÉVENTION DU RAVINEMENT

Afin de prévenir la formation de ravins ou suite à la stabilisation d'un foyer d'érosion, il importe d'améliorer le drainage superficiel dans cette partie du champ. Dans cette optique, on peut penser à subdiviser le bassin de drainage pour réduire la concentration du volume d'eau à un même endroit et dévider une partie des eaux vers un autre exutoire.

Une autre méthode consiste à aménager le site d'érosion en voie d'eau engazonnée ou enrochée selon les normes suggérées au chapitre 8.

10.4.2 MÉTHODES CORRECTIVES AU RAVINEMENT

Lorsque le ravinement est peu prononcé, c'est-à-dire lorsque sa profondeur moyenne est inférieure à 60 centimètres, les ravins peuvent être comblés par du matériel prélevé aux alentours, en prenant soin de conserver le sol arable. Le remblayage s'effectuera au moyen d'un bouteur de puissance appropriée (85 kW minimum). Il est recommandé d'ensemencer aussitôt ces endroits avec un mélange d'herbacées vivaces.

Lorsque le ravinement est plus important (plus de 60 centimètres), on pourra combler les ravins avec du matériel d'emprunt transporté sur place. Lorsque l'ajout de matériel d'emprunt n'entraîne pas de risques d'affaissement ou de glissement de terrain, en raison d'une surcharge additionnelle, on comblera le ravin avec un déblai minéral grossier ou du tout-venant de carrière de granulométrie variant de 0 à 600 mm de diamètre. On recouvrira le tout d'au moins 150 mm de terre arable légèrement compactée et on ensemencera aussitôt le site nouvellement réparé avec un mélange d'herbacées vivaces.

En cas de ravinement important et lorsque la topographie du site d'érosion s'y prête, un bassin de captage peut être aménagé afin de capter l'eau du ruissellement et de l'acheminer vers un émissaire approprié (voir chapitre 9).

10.4.3 MÉTHODES CORRECTIVES AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN

Les glissements de terrain peuvent être évités par un adoucissement de l'angle des talus. L'expertise géotechnique permet de déterminer un angle de talus approprié en fonction d'un facteur de sécurité désiré. Ce facteur de sécurité devrait être de l'ordre de 1,3 à 1,5, la valeur 1,0 identifiant l'état d'équilibre à la rupture (Réf: Guide d'analyse et d'aménagement des cours d'eau à des fins agricoles, MAPAQ). Le MENVIQ peut disposer d'informations pertinentes suite à sa cartographie des zones de glissements de terrain.

De plus d'autres mesures de correction peuvent être utilisées, tel la stabilisation du bas du talus par chargement, le façonnage du talus en paliers afin de décharger le haut de l'escarpement, l'amélioration du drainage interne, etc. L'abandon des cultures sur ces sites et le reboisement devraient aussi être considérés (article 10.5.2).

10.5 COUVERTS VÉGÉTAUX DE PROTECTION CONTRE L'ÉROSION

10.5.1 ENGAZONNEMENT

Dans les cas où le ruissellement est intense, le site d'érosion doit être considéré comme une voie d'eau engazonnée (chapitre 8). L'ensemencement d'un couvert végétal constitue une protection adéquate contre l'érosion par le ruissellement pour des sites dont la pente moyenne est inférieure à 10% et où la vitesse maximale de l'eau ne dépasse pas 2,0 mètres par seconde.

10.5.2 PLANTATION D'ARBRES ET D'ARBUSTES

10.5.2.1 Sur les sites sévèrement érodés, il peut être nécessaire de recommander la plantation d'arbres et d'arbustes, une fois que le site a été stabilisé. Les endroits rendus inaccessibles pour l'outillage agricole ou ayant perdu leur matière organique bénéficient de ces plantations. Les arbres et les arbustes peuvent également être plantés comme prévention à l'érosion sur les sites démontrant, lors des études sur le terrain, des signes précurseurs d'érosion.

10.5.2.2 Les arbres ou les arbustes utilisés doivent avoir un système racinaire latéral et profond. Le tableau 10.1 suggère différentes espèces pouvant être utilisées. Pour connaître les caractéristiques de ces espèces, on peut se référer au document du CPVQ, "Brise-vent, le choix des espèces d'arbres et d'arbustes". (Pour l'approvisionnement en plants, voir article 11.3.4 du présent document). Dans les sites non-stabilisés, où il existe des risques de cisaillement (rupture en cercle), les arbustes doivent être priviligiés car ils assurent plus rapidement une protection et n'occasionnent pas de surcharges aussi importantes que les arbres.

10.6 PROTECTION AU MOYEN DE PERRÉS

Lorsque les vitesses d'eau de ruissellement sont supérieures à 2 mètres par seconde, il est recommandé de protéger les voies d'écoulement par un perré de protection. Un géotextile peut s'avérer nécessaire dans les sols pulvérulents.

La pierre à utiliser est de type angulaire "tout-venant de carrière" de calibre approprié; la pierre de champ peut convenir si elle est disposée soigneusement. On la dimensionne selon les exigences de l'article 8.5 du chapitre 8.

Il faut toujours s'assurer que le poids additionnel de l'enrochement ne contribue pas à accroître les risques de rupture de talus ou d'affaissement de sol.

10.7 SUIVI ET ENTRETIEN

On effectuera une visite annuelle des sites d'érosion ayant fait l'objet de mesures de stabilisation au cours des deux années suivant l'intervention et des mesures correctives seront faites si nécessaires.

L'entretien normal des installations et des ouvrages de stabilisation, tel la fauche et les opérations de maintien des couvertures herbacées, l'enlèvement des débris, etc., demeure la responsabilité du producteur agricole.

Le couvert herbacé doit être maintenu en bon état et on empêchera l'accès des animaux aux sites corrigés.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

TABLEAU 10.1 **Espèces d'arbustes et d'arbres pour plantation des sites sévèrement érodés.**

1. **Arbustes**

Aulne crispé
Aulne rugueux
Cerisier tomenteux
Cornouiller stolonifère
Framboisier
Lilas des jardins
Lilas duveteux
Olivier de Bohème
Osier blanc ou Osier vert
Physocarpe à feuilles d'Obier
Saule artique
Shepherdie argenté
Sureau blanc
Sureau rouge
Viorne cassioïde
Viorne denté
Viorne trilobée

2. **Espèces à feuilles caduques**

Bouleau blanc
Bouleau jaune
Chêne rouge ou blanc
Érable à giguère
Érable à sucre
Frêne rouge ou blanc
Tilleul d'Amérique

3. **Conifères**

Épinette du Colorado
Pin blanc
Pin gris
Pin rouge
Pin Sylvestre

CHAPITRE 11

ÉTABLISSEMENT DE BRISE-VENT

ÉTABLISSEMENT DE BRISE-VENT

Auteurs: Gaëtan Carignan, ingénieur
Camille Desmarais, géographe
Marc Léger, ingénieur
André Vézina, ingénieur forestier

TABLE DES MATIERES

		PAGE
11.1	Domaine d'application	11-3
11.2	Définitions et critères d'efficacité d'un brise-vent	11-3
11.2.1	Brise-Vent	11-3
11.2.2	Porosité	11-3
11.2.3	Hauteur	11-4
11.2.4	Longueur	11-4
11.2.5	Largeur	11-4
11.2.6	Orientation du brise-vent	11-5
11.3	Implantation d'un brise-vent	11-5
11.3.1	Localisation du brise-vent	11-5
11.3.2	Analyse des caractéristiques du sol	11-6
11.3.3	Nature de la protection requise	11-7
11.3.4	Demande de plants du M.E.R.	11-7
11.3.5	Choix des espèces et leur arrangement	11-7
11.4	Préparation du terrain	11-8
11.4.1	Sous-solage	11-8
11.4.2	Amendement	11-8
11.4.3	Travail du sol	11-8
11.4.4	Pose du paillis (film plastique)	11-8
11.5	Plantation	11-10
11.5.1	Réception des plants	11-10
11.5.2	Boutures et plançons	11-10
11.5.3	Plants à racines nues	11-11
11.5.4	Plants en récipients	11-11
11.6	Entretien	11-12
11.6.1	Destruction des mauvaises herbes	11-12
11.6.2	Regarnissage	11-12
11.6.3	Taille et élagage	11-12
11.6.4	Renouvellement	11-13
Figures 11.1	Perméabilité d'un brise-vent	11-14
11.2	Zone de protection	11-14
11.3	Circulation d'air autour d'un brise-vent	11-14
11.4	Perforation du film plastique	11-15
11.5	Plantation de boutures sur film plastique	11-15
11.6	Plantation de plançons sur film plastique	11-16
11.7	Ouverture du film plastique pour plants enracinés	11-16
11.8	Plantation de plants enracinés sur film plastique	11-17
11.9	Plantation de plants en récipient sur film plastique	11-17

11.0 ÉTABLISSEMENT DE BRISE-VENT (rideau d'arbres)

11.1 DOMAINE D'APPLICATION

Le présent chapitre a pour but de décrire l'établissement d'un brise-vent permettant de réduire les problèmes d'érosion éolienne, d'augmenter le rendement de certaines cultures, de protéger les bâtiments, les animaux et les routes tout en rehaussant l'esthétique du paysage.

11.2 DÉFINITIONS ET CRITERES D'EFFICACITÉ D'UN BRISE-VENT

11.2.1 BRISE-VENT

Le brise-vent est défini comme un obstacle placé en travers du vent pour en réduire sa vitesse. Cet obstacle peut être constitué de matériaux inertes, il est alors appelé brise-vent artificiel. Très dispendieux comme moyen de conservation des sols, celui-ci est surtout utilisé dans les cultures de haute valeur commerciale ou pour protéger de petites surfaces.

Le brise-vent naturel constitué d'arbres et d'arbustes, est par contre beaucoup moins cher.

11.2.2 POROSITÉ

La porosité d'un brise-vent correspond au rapport (en %) entre la surface occupée par les vides et la surface totale du plan exposé au vent. En pratique, la porosité est le facteur le plus employé pour caractériser l'efficacité des brise-vent artificiels ou des barrières naturelles étroites (1 ou 2 rangées d'arbres). La porosité du brise-vent doit s'ajuster

aux besoins de protection qui varient selon les productions. Pour faire un bon choix, il faut connaître l'influence de la porosité sur la réduction de la vitesse du vent et sur l'accumulation de neige dans les champs (figure 11.1). La réduction optimale de la vitesse du vent, en termes de longueur protégée et d'intensité de protection, s'obtient avec une porosité voisinant les 40%, ce qui correspond à un brise-vent perméable moyennement dense à dense. Une porosité de 70% permet une répartition uniforme de la neige dans la zone protégée. L'utilisation d'arbres ou d'arbustes qui perdent leurs feuilles durant l'hiver, nous apparaît très avantageuse sauf dans le cas où l'érosion éolienne se produit après la fonte des neiges et avant la feuillaison.

11.2.3 HAUTEUR

La zone de protection d'un brise-vent est fonction de sa hauteur. Un brise-vent de 30 à 50% de porosité assure une protection efficace sur une distance de 10 à 20 fois sa hauteur (figure 11.2).

11.2.4 LONGUEUR

Pour être pleinement efficace, un brise-vent doit avoir une longueur d'au moins 11,5 fois sa hauteur (figure 11.3).

11.2.5 LARGEUR

Pour la protection des sols contre l'érosion, il faut tendre vers un rideau forestier d'une ou deux rangées selon les essences utilisées et la protection dési-

rée. Une deuxième rangée permet un renouvellement plus facile du brise-vent.

11.2.6 ORIENTATION DU BRISE-VENT

On doit orienter le brise-vent perpendiculairement au vent dominant. Plus on s'éloigne de la perpendiculaire, plus la perméabilité du brise-vent diminue.

11.3 IMPLANTATION D'UN BRISE-VENT

11.3.1 LOCALISATION DU BRISE-VENT

Le choix de la localisation et de l'orientation du brise-vent doit tenir compte des points suivants:

- si possible orienter le brise-vent perpendiculairement aux vents dominants;
- si l'orientation dépasse 20°, il faut rapprocher les rideaux forestiers les uns des autres ou installer un autre rideau perpendiculaire au principal formant un "L";
- il est conseillé d'installer les rideaux d'arbres en bordure des fossés ou chemins de ferme;
- les arbres peuvent être plantés sur la ligne de lot, dans ce cas, il est recommandé d'établir une entente notariée (servitude);
- si aucune entente n'est ratifiée, c'est l'article 195 du code civil qui prévaut et donne droit "au propriétaire d'une terre en culture à un découvert sans arbre nuisible de 15 pieds chez le voisin", bien que certaines municipalités projettent d'adopter un règlement permettant l'implantation d'un brise-vent dans une ligne de lot, nous n'avons pas de jurisprudence ni d'avis légal

sur la validité d'un tel procédé.

Avant d'établir un brise-vent, il faut considérer les contraintes du site à l'étude. La proximité des routes, la localisation des lignes électriques et des drains souterrains influencent la localisation. Le Cahier des normes de drainage souterrain AGDEX 555, (article 15.17.1.1) contient des dispositions sur les distances à respecter entre un drain collecteur et des arbres:

> Un brise-vent doit être à une distance d'au moins 15 mètres d'un collecteur (ou d'un drain susceptible de transporter de l'eau sur une grande période). Dans le cas où les arbres ou les arbustes plantés possèdent un important réseau racinaire (érables, saules, peupliers, etc.), cette distance est augmentée à 30 mètres.

Dans certains cas, les distances mentionnées dans le cahier des normes peuvent être moindres, si on utilise des espèces d'arbres aux racines latérales, peu profondes tel que les épinettes.

11.3.2 ANALYSE DES CARACTÉRISTIQUES DU SOL

Quand l'emplacement du brise-vent est déterminé, il faut identifier la texture, le pH du sol et faire l'évaluation de l'état du drainage. Cette analyse contribuera à la sélection des essences pour la confection du brise-vent à partir des indications des conseillers forestiers et agricoles de la région (se référer au guide du CPVQ, no 89-0186. Les brise-vent, Le choix des espèces d'arbres et d'arbustes).

11.3.3 NATURE DE LA PROTECTION REQUISE

La nature de la protection requise, qui est fonction des caractéristiques de la culture à protéger, va influencer le choix et l'arrangement des arbres dans le brise-vent. Aux endroits où l'érosion par le vent est très grave, des arbres à croissance rapide comme les peupliers hybrides et les mélèzes sont utilisés. D'autres méthodes de conservation des sols (labour de conservation, culture en bandes, culture de couverture etc...) devraient être recommandées en attendant que le brise-vent soit efficace.

11.3.4 DEMANDE DE PLANTS AU M.E.R.

L'inscription au reboisement, volet brise-vent, doit s'effectuer auprès des autorités du ministère de l'Energie et des Ressources (M.E.R.) de votre région avant le 1er octobre pour la plantation du printemps suivant. Si les arbres ne sont pas disponibles auprès du M.E.R., ils peuvent être achetés dans des pépinières privées.

11.3.5 CHOIX DES ESPECES ET LEUR ARRANGEMENT

Le choix des espèces d'arbres et d'arbustes ainsi que leur arrangement sont dictés par les caractéristiques du sol, le climat de la région, le degré de protection désiré et par l'interaction potentielle du brise-vent avec les cultures (se référer au guide du CPVQ, no 89-0186. Les brise-vent, Le choix des espèces d'arbres et d'arbustes).

11.4 PRÉPARATION DU TERRAIN

11.4.1 SOUS-SOLAGE

S'il y a une couche tassée, indurée ou fortement contrastante sous-voler avec un instrument à dents profondes, en période sèche pour la briser. Cette opération permet une descente profonde et rapide des racines.

11.4.2 AMENDEMENTS

Dans les sols dont le contenu en matière organique est inférieur à 3%, l'ajout de fumier préalablement bien décomposé à raison de 40 t/ha donnera de meilleurs résultats.

Règle générale, le pH requis est de 6 et plus pour les feuillus et de 5 à 6 pour les conifères.

11.4.3 TRAVAIL DU SOL

Le travail du sol doit se faire sur une largeur de 2 mètres et à une profondeur d'au moins 15 cm (utiliser un rotoculteur de préférence). Pour faciliter le déroulage du paillis plastique, et bien couvrir chaque côté du film, le sol doit être meuble et sans particules grossières tel que les résidus de végétation.

11.4.4 POSE DU PAILLIS (FILM PLASTIQUE)

Avant le travail du sol, surtout aux endroits où les mauvaises herbes sont en abondance, un désherbage

chimique (1) devrait être fait.

Le paillis, film plastique noir, permet de réduire la compétition herbacée, de maintenir une bonne structure et de conserver l'humidité du sol. De plus, il confère une zone de protection aux arbres lors de l'application d'herbicides sur les mauvaises herbes qui poussent en bordure du paillis.

L'installation du film à l'automne permet de répartir les travaux dans des périodes où l'activité agricole est moins intense et aussi de procéder à une plantation plus hâtive au printemps avant l'accès au champ par la machinerie.

Le travail se fait à l'aide d'une dérouleuse mécanique traînée par un tracteur de ferme de faible puissance. L'efficacité de cette machine pour bien recouvrir les côtés du film dépend d'une préparation adéquate du sol.

Les caractéristiques du film plastique sont:

Couleur : noir (longue durée)
Épaisseur: embossé, 0,07 mm (2,7 millièmes de pouce)
Largeur : 1,5 m
Longueur : 457 m

(1. Source: CPVQ., Mauvaises herbes- Répression, M.A.P.A.Q. Québec 1985, 119 p.)

11.5 PLANTATION

11.5.1 RÉCEPTION DES PLANTS

La plantation doit se faire le plus tôt possible après la réception des plants. S'il y a une période d'attente de 1 à 2 jours, il faut placer les ballots dans un endroit frais. Si la période est plus longue, la mise à jauge est nécessaire.

Les boutures et les plançons doivent être mis dans l'eau une journée avant la plantation afin de favoriser le développement des bourgeons adventifs. Pour une période plus longue, il faut les conserver à une température de 0^{o} à 2^{o} C.

11.5.2 BOUTURES ET PLANÇONS

La plantation des boutures se fait de la façon suivante:

- utiliser un plantoir (tige métallique de diamètre légèrement inférieure au diamètre de la bouture);
- planter les boutures obliquement à 45^{o} afin d'éviter le déchaussement par le gel (figure 11.4);
- ne laisser apparaître que l'extrémité de la bouture qui porte le bourgeon de tête, en prenant soin de ne pas le briser;
- tasser la terre autour de la bouture;
- empêcher le déplacement du film par une pelletée de sable inerte ou quelques cailloux disposés autour de la bouture (figure 11.5).

Pour les plançons, le procédé est le même sauf qu'ils sont plantés à la verticale et à une profondeur de 0,6 à 1 mètre (figure 11.6).

11.5.3 PLANTS A RACINES NUES

Avec les plants à racines nues, il faut prendre les précautions suivantes:

- démêler les racines;
- extraire les plants un à la fois;
- ne jamais laisser les racines à l'air et au soleil;
- pratiquer une ouverture dans le paillis suffisamment grande en forme de Y ou de X, rabattre les pointes et extraire la terre (figure 11.7);
- bien étaler les racines dans le trou, les placer vers le bas et voir à ce que le collet soit au niveau du sol;
- bien tasser le sol avec le talon, un bon arrosage du sol évite aussi les poches d'air;
- installer une collerette (carré de plastique) autour du plan et rabattre les pointes, déposer une pelletée de sable inerte afin d'empêcher le déplacement du film (figure 11.8).

11.5.4 PLANTS EN RÉCIPIENTS

Les plants en récipients sont des plants dont les racines sont encore enveloppées dans le sol de la pépinière, formant une carotte facile à planter à l'aide d'un plantoir. Le paillis est maintenu de la même façon que pour les boutures (figure 11.9).

Pour plus d'informations, consultez le guide du CPVQ (89-0094, Les brise-vent, L'implantation d'un brise-vent naturel).

11.6 ENTRETIEN

11.6.1 DESTRUCTION DES MAUVAISES HERBES

Il faut supprimer les mauvaises herbes de chaque côté du film, mécaniquement à une fréquence de 2 à 3 fois par année ou chimiquement avec un herbicide approprié qu'il faut appliquer par temps calme.

11.6.2 REGARNISSAGE

Suite à la plantation, les plants morts doivent être remplacés.

11.6.3 TAILLE ET ÉLAGAGE

Si le brise-vent devient trop dense ou si les branches nuisent à une bonne régie du champ, la taille ou l'élagage est recommandé. Ce travail se fait durant la période de dormance, soit après la chute des feuillus en évitant le printemps pour les arbres à sève abondante.

L'élagage est conseillé lorsque les branches du bas d'un arbre à croissance rapide nuisent au bon développement d'un arbre à croissance plus lente.

11.6.4 RENOUVELLEMENT

Un brise-vent à deux rangées permet d'effectuer une rotation assurant une protection continue au sol. Sur une seule rangée, il est recommander de planter des essences à croissance rapide entre lesquelles sont intercallées des essences à développement plus lent pouvant tolérer l'ombrage des premiers.

Pour bien réussir la rotation, il faut une surveillance du développement des arbres et intervenir pour élaguer et couper les arbres au bon moment.

Pour plus de détails sur l'entretien du brise-vent, consultez le guide du CPVQ (No. 89-0093) qui traite de cet aspect primordial de la réussite d'un brise-vent.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

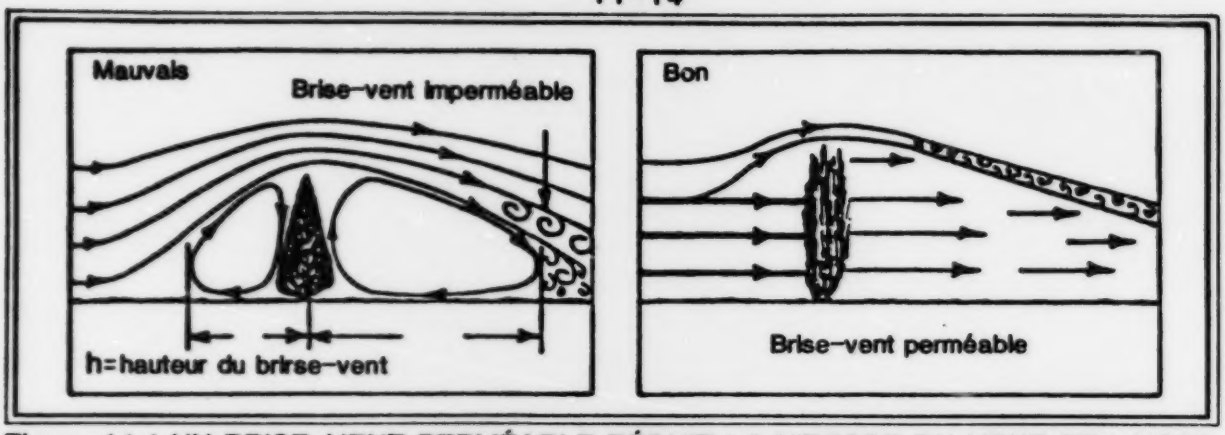


Figure 11.1 UN BRISE-VENT PERMÉABLE RÉDUIT LA VITESSE DU VENT ET LAISSE ÉCOULER L'AIR SANS TURBULENCE ASSURANT UNE PROTECTION ÉGALE DE 10 À 20h.

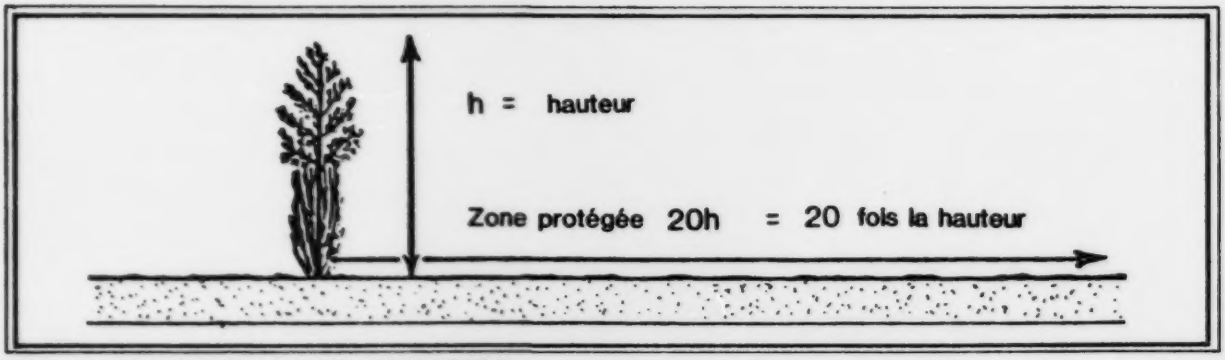


Figure 11.2 ZONE DE PROTECTION

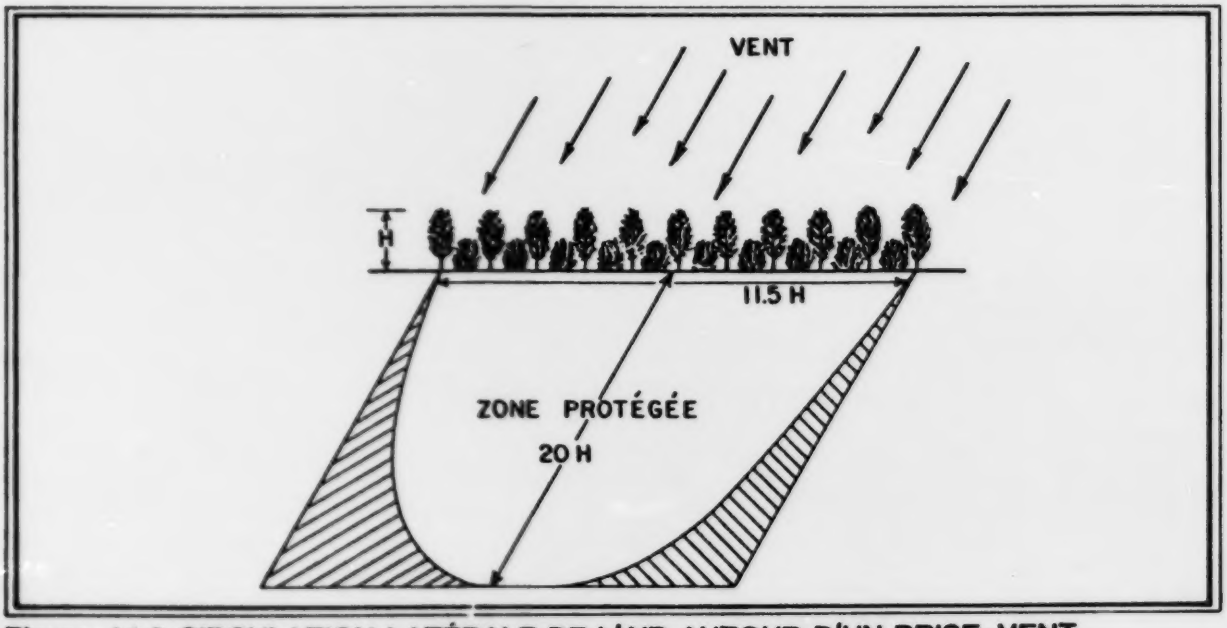


Figure 11.3 CIRCULATION LATÉRALE DE L'AIR AUTOUR D'UN BRISE-VENT

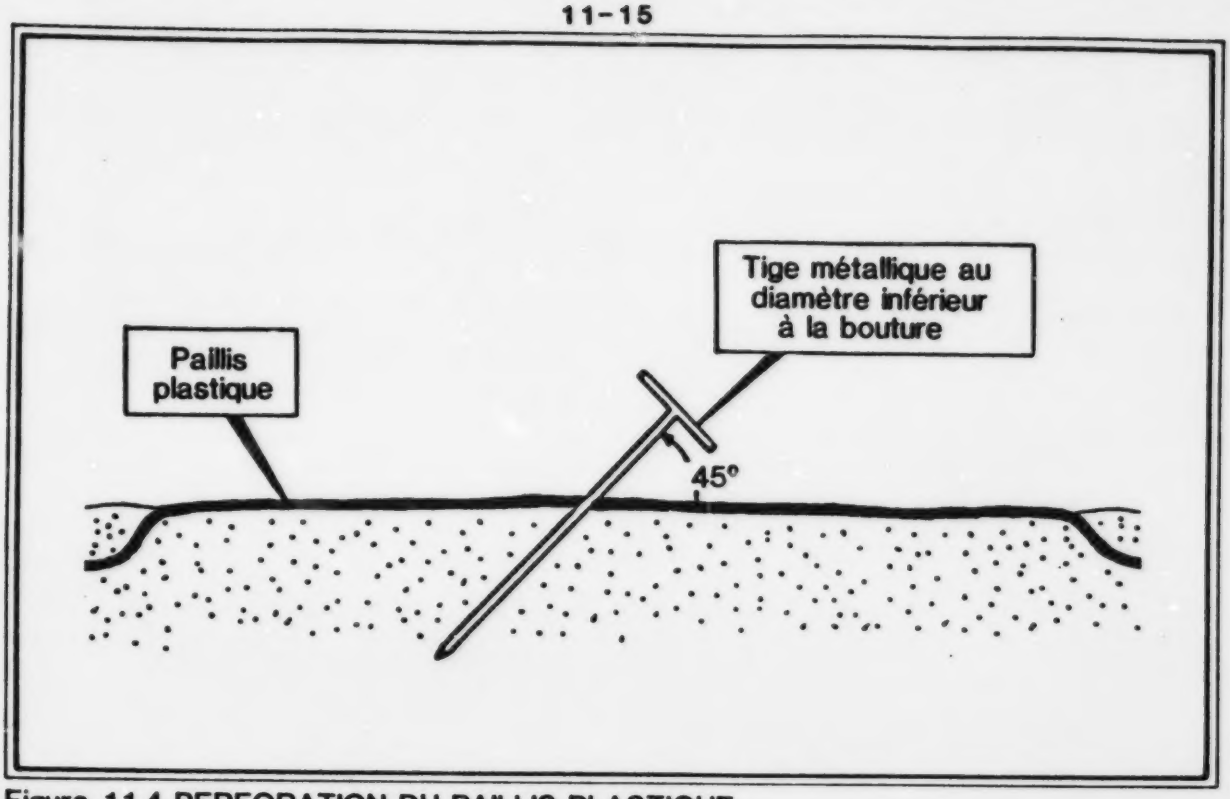


Figure 11.4 PERFORATION DU PAILLIS PLASTIQUE.

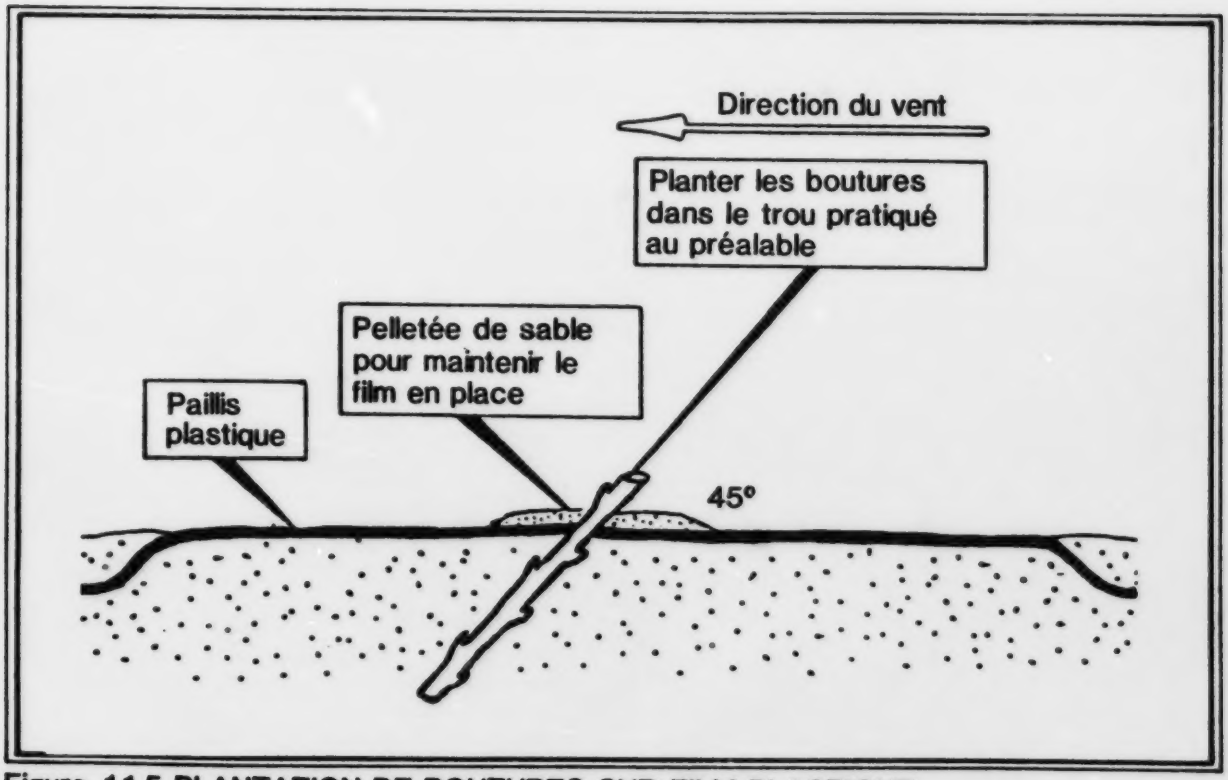


Figure 11.5 PLANTATION DE BOUTURES SUR FILM PLASTIQUE.

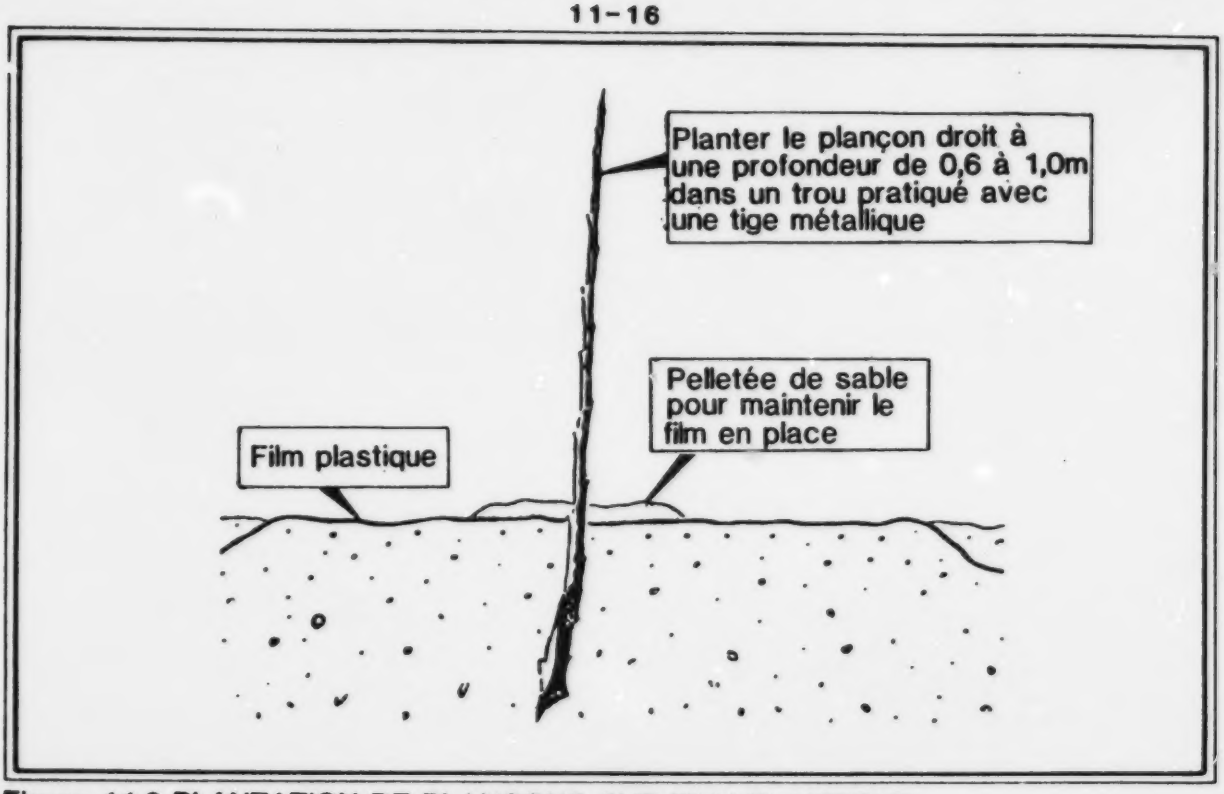


Figure 11.6 PLANTATION DE PLANÇONS SUR FILM PLASTIQUE.

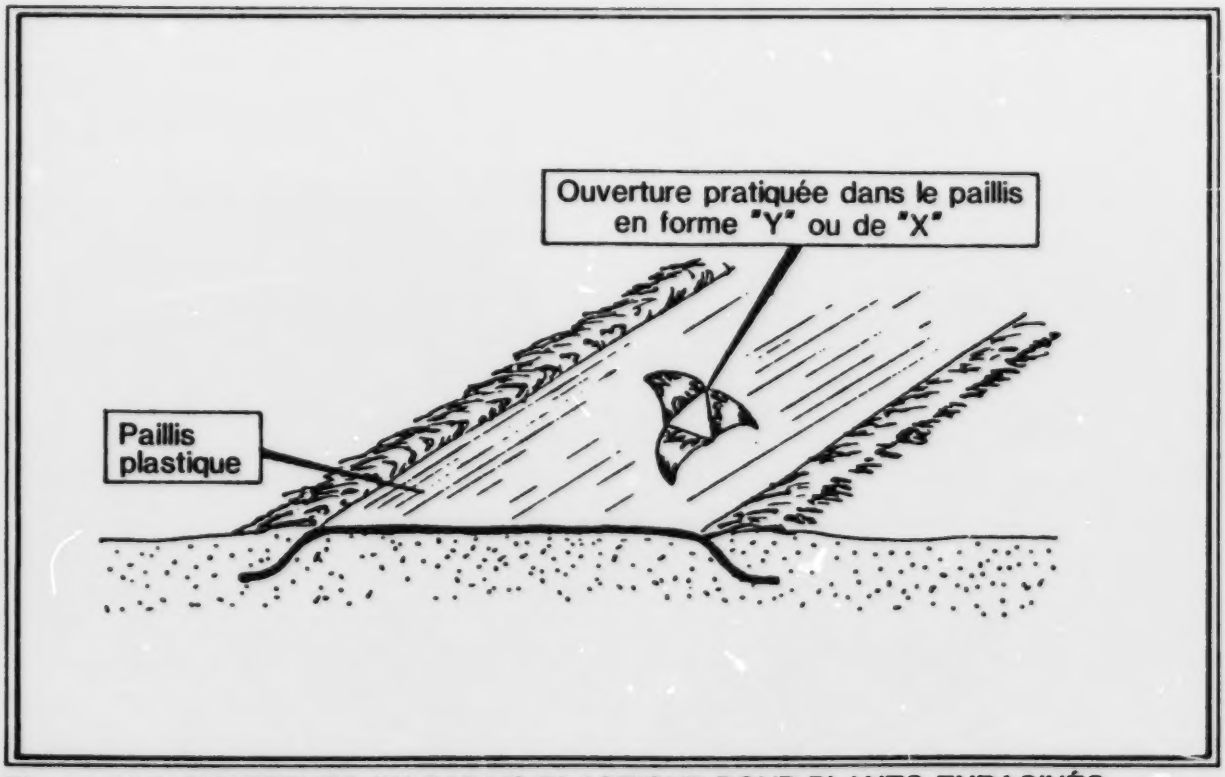


Figure 11.7 OUVERTURE DU PAILLIS PLASTIQUE POUR PLANTS ENRACINÉS.

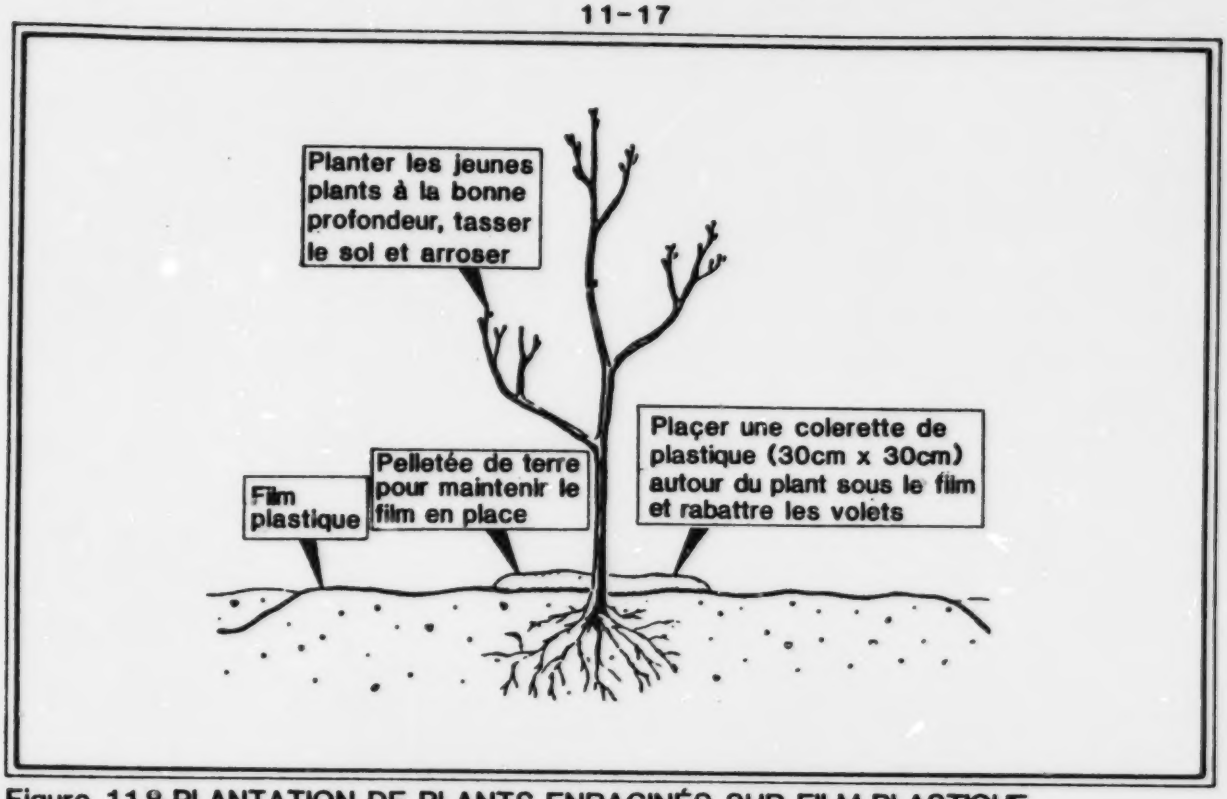


Figure 11.8 PLANTATION DE PLANTS ENRACINÉS SUR FILM PLASTIQUE.

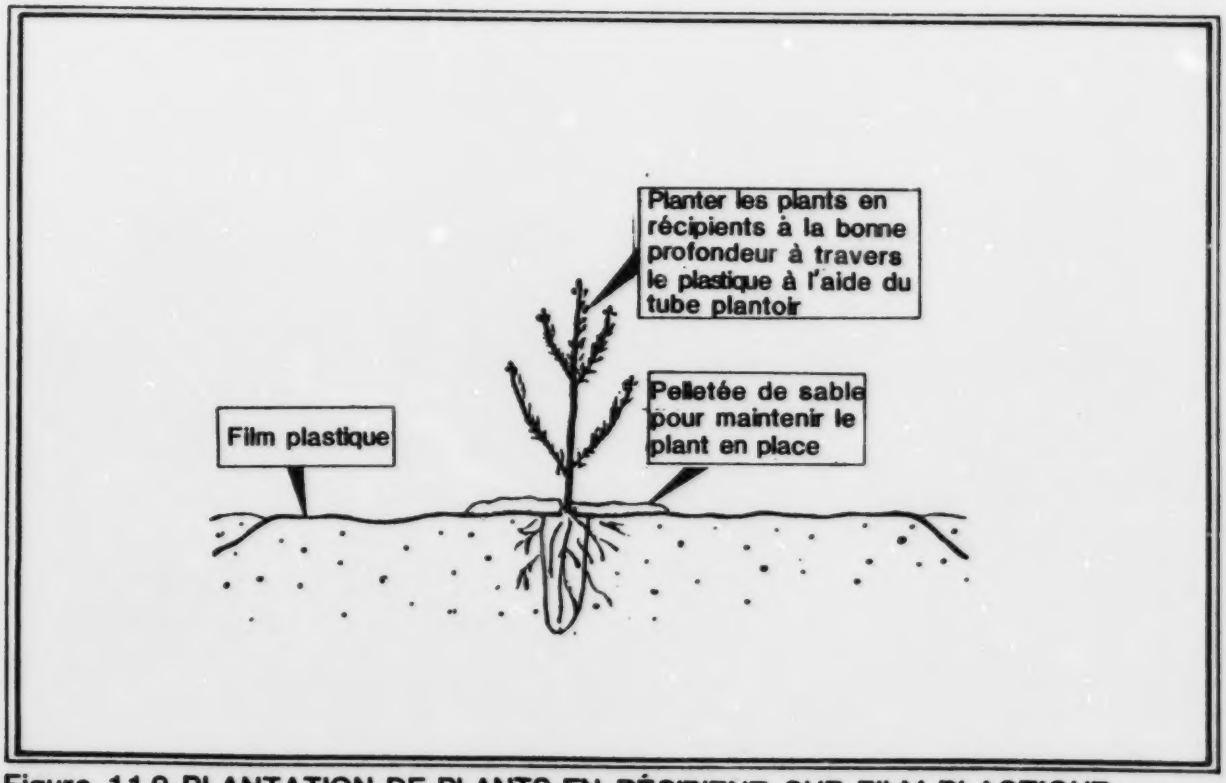


Figure 11.9 PLANTATION DE PLANTS EN RÉCIPIENT SUR FILM PLASTIQUE.

CHAPITRE 12

ÉTANG POUR IRRIGATION

ÉTANG POUR IRRIGATION

Auteurs: Denis Naud, ingénieur
Jacques Gallichand, ingénieur
Gilles Noël, ingénieur
Marcel Tremblay, ingénieur

TABLE DES MATIERES

			PAGE
12.1	Domaine d'application		12-3
12.2	Définition		12-3
12.3	Préparation du projet		12-3
	12.3.1	Topographie du terrain	12-3
	12.3.2	Caractéristiques du sol	12-4
	12.3.3	Conductivité hydraulique	12-4
	12.3.4	Évaluation des besoins en eau	12-4
	12.3.5	Dimensionnement de l'étang	12-7
	12.3.6	Conception de l'étang d'irrigation	12-10
12.4	Réalisation du projet		12-10
	12.4.1	Machinerie et outillage	12-11
	12.4.2	Préparation du terrain	12-11
	12.4.3	Excavation et disposition des déblais	12-11
	12.4.4	Finition des travaux et protection des lieux	12-12
Tableaux	12.1	Radiation extraterrestre mensuelle moyenne	12-13
	12.2	Coefficient d'évapotranspiration pour les cultures irriguées	12-14
Annexes	A-12	Caractéristique de l'étang d'irrigation	12-15
	B-12	Quantité d'eau à appliquer et quand l'appliquer?	12-16

12.0 ÉTANG POUR IRRIGATION

12.1 DOMAINE D'APPLICATION

Dans ce chapitre nous proposons une méthode qui permet d'établir les besoins en eau d'irrigation afin de faire le design des structures de stockage; de plus il contient une description des travaux nécessaires à leur construction.

12.2 DÉFINITION

L'étang d'irrigation est toute réserve d'eau créée par l'aménagement d'une fosse dans le sol. Elle est destinée à combler les besoins en eau d'une ou de plusieurs cultures en période de déficit hydrique.

12.3 PRÉPARATION DU PROJET

La préparation du projet comprend :

- une étude sur le terrain pour faire le relevé topographique du site, déterminer les caractéristiques du sol et du sous-sol, vérifier la profondeur de la nappe d'eau en période sèche et déterminer la conductivité hydraulique du sous-sol;
- la conception d'un projet en fonction des déficits en eau des cultures à irriguer et des caractéristiques du sol.

12.3.1 TOPOGRAPHIE DU TERRAIN

L'étang d'irrigation devrait être situé le plus près possible du centre des cultures à irriguer. La pente du site choisi doit être inférieure à 4%. De plus, le site devrait offrir la possibilité d'un rechargement de l'étang par des sources souterraines, le drainage de surface et souterrain, les cours d'eau ou les

puits. Le site devra permettre l'aménagement d'un canal d'évacuation, s'il y a lieu.

Dans le cas où les systèmes de drainage souterrain, de surface ou les cours d'eau servent à recharger un étang, des précautions doivent être prises afin de s'assurer que l'eau ne contienne pas de pesticides incompatibles avec les cultures à irriguer, ou d'éléments susceptibles de transmettre des maladies aux cultures.

12.3.2 CARACTÉRISTIQUES DU SOL

Des sondages doivent être réalisés afin d'établir le profil du sol sur une profondeur légèrement supérieure à la profondeur prévue de l'étang.

12.3.3 CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE

Des essais de conductivité hydraulique devraient être réalisés par la méthode du trou à la tarière. Ces essais devraient être faits dans la période prévue d'irrigation. Ceci permet d'établir la possibilité de recharge de l'étang par l'eau souterraine et permet également d'observer la profondeur et la variation de la nappe d'eau en période sèche. Ainsi une conductivité élevée permet un rechargement rapide de l'étang et une conductivité faible peut impliquer dans certains cas aucun rechargement.

12.3.4 ÉVALUATION DES BESOINS EN EAU

Si l'agriculteur possède un étang d'irrigation et fait une gestion adéquate de l'eau d'irrigation, la

quantité d'eau nécessaire pour l'irrigation des cultures peut être déterminée par les besoins existants sur la ferme. Des formules empiriques permettent également d'établir la quantité d'eau évaporée par les plantes; elles ont été conçues par Baier-Robertson, Blaney-Criddle,Thornthwaite et Penman.

12.3.4.1 Formule de Baier et Robertson

La formule de Baier et Robertson semble la plus facile d'utilisation et a été développée pour des conditions de l'est du Canada. Elle a été conçue pour évaluer l'évapotranspiration potentielle journalière en fonction des températures maximale et minimale et de la radiation solaire (référence : Estimation of latent evapotranspiration from single weather observation, Canadian Journal Plants Service, 1965 (45), pages 276-284). Elle s'énonce ainsi :

$$Et_p = 0{,}094\ [\ 0{,}928\ T_{max} + 0{,}933\ (T_{max} - T_{min}) + 0{,}0486\ R^o - 87{,}03]$$

- Et_p : évapotranspiration potentielle journalière, en mm/j;
- T_{max} : température maximale journalière ^oF (selon les données climatiques de la station météo la plus proche);
- T_{min} : température minimale journalière en ^oF;
- R^o : énergie solaire à la partie supérieure de l'atmosphère, en langleys (voir le tableau 12.1).

Cette formule recommande l'utilisation des températures journalières; toutefois l'utilisation des températures moyennes mensuelles donnent des résul-

tats assez précis pour nos besoins. Donc les températures et l'énergie solaire moyennes mensuelles donneront l'évapotranspiration mensuelle. L'évapotranspiration réelle s'obtient en multipliant l'évapotranspiration potentielle par un coefficient d'évapotranspiration (voir le tableau 12.2). Toutefois pour les besoins de calcul de la capacité de l'étang, ce facteur pourrait être égal 1,0 ce qui assurerait une sécurité d'approvisionnement en eau pour les saisons très sèches.

12.3.4.2 Déficit en eau

Le déficit en eau est la différence entre l'évapotranspiration et la précipitation.

$$D = \Sigma Et_m - \Sigma Ppt_m$$

D : déficit total pour la saison, en mm;

ΣEt_m : somme des évapotranspirations réelles mensuelles, en mm;

ΣPpt_m : somme des précipitations mensuelles, en mm.

12.3.4.3 Protection contre le gel

Dans certaines régions et pour certaines cultures, il peut être nécessaire de procéder à l'arrosage pour assurer une protection contre le gel. Dans ces circonstances, il faut évaluer la quantité d'eau nécessaire. Une méthode simple pour cette évaluation est de considérer que la protection contre le gel nécessite un débit de 2,5 mm par heure sur une période de 8 heures par nuit; en se référant aux relevés climatiques de la région et au type de cultures il est possible d'évaluer le nombre de période d'arrosage

(la période d'arrosage débute lorsque la température descend à 1 ou 2°C) et la quantité nécessaire au moyen de la formule suivante :

$G = Q \quad P \quad N$

- G : besoin en eau pour la protection contre le gel, en millimètres;
- Q : débit d'arrosage (2,5 mm/heure);
- P : période d'arrosage en heures;
- N : nombre de périodes d'arrosage.

12.3.4.4 Besoins en eau pour la saison de végétation

L'évaluation des besoins en eau doit être basée sur l'efficacité estimée de l'irrigation en ajoutant les pertes dues à l'évaporation de l'étang. Il est recommandé d'utiliser un coefficient de 0,70 pour tenir compte de ces facteurs. Les besoins en eau s'établissent ainsi :

$B = (D + G) / 0,70$

- B : besoins en eau pour la saison de végétation, en mm;
- D : déficit en eau pour la saison de végétation, en mm;
- G : besoins en eau pour la protection contre le gel, en mm.

12.3.5 DIMENSIONNEMENT DE L'ÉTANG

12.3.5.1 Capacité de l'étang

La quantité d'eau totale annuelle nécessaire à l'irrigation est déterminée par la quantité requise pour

combler les besoins de toutes les superficies à irriguer durant la saison de végétation. La capacité de l'étang devrait être calculée en fonction de cette quantité totale.

Il est important de se rappeler que le déficit a été calculé pour une saison moyenne et que lors des saisons avec de très faibles précipitations l'eau doit également être disponible pour l'irrigation. La quantité d'eau accumulée dans l'étang au printemps devrait être suffisante pour répondre au besoin de l'irrigation pour l'année (article 12.3.4.4). La capacité totale de l'étang doit donc être de :

$$C = B \ A \ 10^4$$

C : capacité de l'étang, en litres;
B : besoin en eau d'irrigation, en mm;
A : superficie à irriguer, en ha.

Dans les cas où la conception implique des dimensions disproportionnées, il faut envisager plutôt de régénérer les réserves d'eau de l'étang, soit par pompage d'eau de puits ou de cours d'eau municipaux (après entente préalable avec les autorités concernées). Toutefois, il faut que la quantité en réserve dans l'étang permette de faire au moins une rotation complète des superficies à irriguer.

12.3.5.2 Recharge de l'étang et choix du site

La capacité de recharge d'un étang est fonction de la percolation des eaux de précipitations formant un aquifère à nappe libre s'écoulant vers les dépressions. Ainsi le choix du site doit favoriser le plus

possible la recharge de l'étang. Une étude hydrogéologique peut fournir une évaluation de la capacité de recharge. A défaut d'une telle étude, il est possible de déterminer le niveau de la nappe à l'aide de puits d'observation et de déterminer la conductivité hydraulique du milieu (voir 12.3.3). L'approvisionnement en eau influencera la capacité de l'étang de la façon suivante :

- si l'approvisionnement en eau est régulier, la capacité de l'étang est déterminée par le déficit mensuel du mois le plus critique, l'étang devrait alors se recharger entre les arrosages;
- si l'approvisionnement en eau est irrégulier la capacité de l'étang est déterminée par la quantité totale annuelle nécessaire pour fin d'irrigation dans les cas critiques de gel printanier, la quantité d'eau nécessaire à la protection contre le gel doit être ajoutée.

L'étang doit être situé le plus près possible du point d'utilisation et de sa source de rechargement. Si un cours d'eau sert à alimenter un étang, cet étang doit être situé en dehors du cours d'eau et une entente entre la municipalité et les utilisateurs doit être établie afin d'assurer une distribution équitable de l'eau.

12.3.5.3 Gestion de l'eau d'irrigation

Une bonne gestion de l'eau d'irrigation est nécessaire. Un document du MAPAQ intitulé "Irrigation, dosage et moment d'application" donne quelques conseils sur la gestion de l'eau:

- utilisation d'un système d'irrigation plus efficace;

- utilisation de tensiomètres pour déterminer le moment et la durée d'irrigation;
- détermination de la quantité d'eau à appliquer en tenant compte du type de sol, de la profondeur des racines et de la quantité d'eau utilisable par les racines (annexe B-12).

12.3.6 CONCEPTION DE L'ÉTANG D'IRRIGATION

12.3.6.1 Dimensions de l'étang

La forme de l'étang devrait s'adapter au relief du terrain toutefois la forme de la pyramide inversée est la plus utilisée (figure 12.1) La profondeur et la pente des talus sont conditionnées par les contraintes de sol tandis que la longueur et largeur le sont par le volume établi. Le choix final doit tenir compte des données de l'annexe A-12. La profondeur la plus grande possible (3 m et plus) doit être priviliégée parce qu'elle permet de limiter l'évaporation et la perte d'eau souterraine, et permet la recharge par l'aquifère.

12.3.5.2 Volume d'excavation et réserve d'eau

Les dimensions de l'étang peuvent être établies suite à quelques itérations de l'une ou l'autre des formules suivantes (voir la figure 12.1);

$$V = H/6 \left[L (2a + a') + L' (2a' + a) \right]$$

$$V = H \quad \frac{(a+a')}{2} \quad \frac{(L+L')}{2}$$

12.4 RÉALISATION DU PROJET

L'étang doit être aménagé aux dimensions prévues lors de la conception.

12.4.1 MACHINERIE ET OUTILLAGE

Le volume du matériel à excaver, l'emplacement du site, la configuration de l'étang et la texture du sol permettent de recommander le type d'outillage à utiliser. Le travail d'excavation peut se faire au moyen de pelles hydrauliques ou mécaniques, de bouteurs de chargeur ou d'une combinaison de ceux-ci. Les déblais sont régalés à l'aide d'un bouteur ou transportés loin du site.

12.4.2 PRÉPARATION DU CHANTIER

Les arbres et arbustes situés sur le site et les abords de l'étang doivent être enlevés. Ce dégagement est exécuté selon l'un ou l'autre des modes suivants :

- coupe, récupération du bois utile (chauffage ou bois d'oeuvre) et brûlage ou déchiquetage des branches;
- coupe et brûlage ou déchiquetage des troncs et des branches.

Les souches doivent être mises en haies et disposées loin des abords de l'étang et de l'endroit du dépôt des déblais (voir article 2.4.2 pour le brûlage des haies).

12.4.3 EXCAVATION ET DISPOSITION DES DÉBLAIS

La terre de surface doit être enlevée et mise de côté pour servir à recouvrir les déblais impropres à la culture une fois les travaux terminés. Les déblais doivent être déposés à une distance d'au moins 5 mètres du sommet de la coupe et ne doivent pas servir à relever les rives naturelles de l'étang pour empêcher le ruissellement vers celle-ci, ainsi les déblais doivent être régalés en couches minces ou transportés loin du site (la vente de sol doit être autorisée par la Commission de la protection du territoire agricole). Si en raison de la pente du terrain, les déblais doivent servir à rehausser les rives de l'étang, le remblai ainsi formé doit être imperméabilisé.

12.4.4 FINITION DES TRAVAUX ET PROTECTION DES LIEUX

Lorsque les travaux de régalage sont terminés, il est recommandé de labourer la couche de sol compacté. La berge et les déblais devraient être engazonnés immédiatement après les travaux pour éviter l'érosion des sols (voir article 5.5). Des dispositions doivent être prises pour assurer la protection des lieux (clôtures, signalisation, etc.) en conformité avec les règlements en vigueur, s'il y a lieu.

-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

Tableau 12.1 Radiation extraterrestre mensuelle moyenne (langleys)*

Latitude	Mois						
	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre
45	809.7	953.2	1016.9	985.9	868.3	693.4	498.3
46	802.0	950.2	1016.6	985.0	862.7	683.2	484.8
47	794.2	945.1	1016.2	984.0	858.6	672.9	473.3
48	758.8	941.7	1014.7	982.8	853.6	662.4	460.6
49	777.6	940.1	1013.1	978.6	844.7	651.6	443.7

1 langley = 1 cal/cm^2

Source: (Selected tables and conversions used in agrometeorology and related fields. Publication 1522, Agriculture Canada 1974).

Tableau 12.2 Coefficients d'évapotranspiration pour les cultures irriguées dans l'ouest des États-Unis

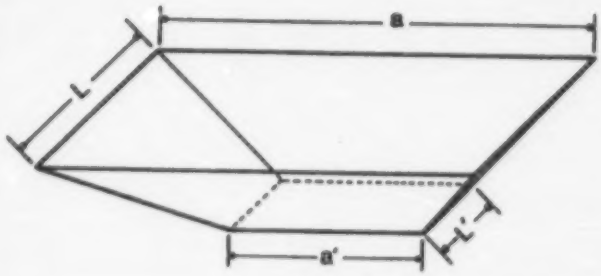
Cultures	Longueur de la saison ou période de croissance	Coefficient saisonnier d'évapotranspiration (K)	Maximum mensuel* (K)
Luzerne	Jusqu'aux gelées	0.85	0.95-1.25
Fèves	3 mois	0.65	0.75-0.85
Maïs	4 mois	0.75	0.80-1.20
Verger, plantes caduques	Jusqu'aux gelées	0.65	0.70-0.75
Pâturage, herbes annuelles, foin	Jusqu'aux gelées	0.75	0.85-1.15
Pommes de terre	3 mois	0.70	0.86-1.00
Petits grains	3 mois	0.75	0.85-1.00
Sorgho	5 mois	0.70	0.85-1.00
Betterave à sucre	5 mois		0.85-1.00

* Il est fonction de la température mensuelle moyenne et du stage de croissance des cultures

Note: K est une moyenne saisonnière du coefficient d'évapotranspiration choisi pour différentes cultures et longueurs de saison de croissance.

Source: Manuel des principes d'hydrologie, D.M. Gray, éditeur, Les Publications du Comité national canadien de la décennie hydrologique internationale, p. 3.55

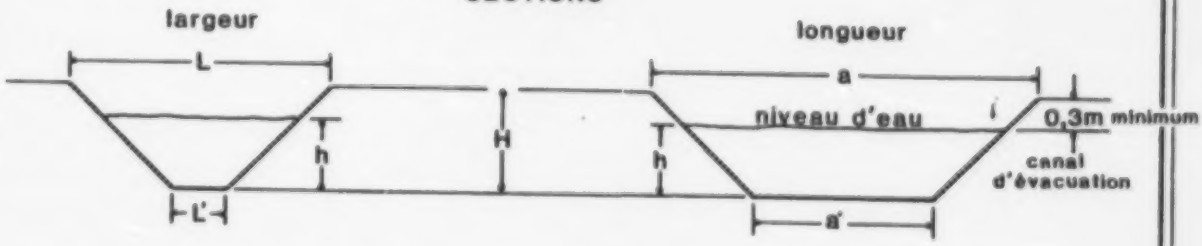
ILLUSTRATION



LÉGENDE

L = largeur en surface
a = longueur en surface
L' = largeur au fond
a' = longueur au fond
H = profondeur de l'étang
h = hauteur d'eau

SECTIONS



$$V = \frac{H}{6}\left[L(2a+a') + L'(2a'+a)\right]$$

ou

$$V = H\left[\left(\frac{a+a'}{2}\right)\left(\frac{L+L'}{2}\right)\right]$$

$V = m^3$

$\left.\begin{matrix} a \\ L \\ H \end{matrix}\right\} m$

Figure 12.1 CALCUL DU VOLUME DE L'ÉTANG

ANNEXE A-12

Caractéristiques de l'étang d'irrigation

1 La pente des talus:

1 : 0	dans le roc solide, la tourbe, le schiste ou la morraine;
1 : 0,5	dans les graviers anguleux compacts;
1 : 1	dans le sol contenant plus de 35 % d'argile;
1 : 1.5	dans le sol contient entre 10 et 35 % d'argile ou dans les sables anguleux compacts;
1 : 2	dans le sol contenant moins que 10 % d'argile ou dans les sables ronds non compacts;
1 : 3	dans les terres noires décomposées où dans une argile instable;

2- La pente du terrain du site doit être inférieure à 4 %;

3- Le niveau d'eau doit être maintenu à un minimum de 30 cm sous la plus basse rive naturelle de l'étang, ce niveau est maintenu par un canal d'évacuation prévu au projet;

4- La capacité de l'étang doit être égale ou supérieure au besoin en eau calculé;

5- L'étang doit être localisé en dehors d'un cours municipal;

6- L'aménagement doit respecter la réglementation en vigueur (municipale, environnementale , etc.).

ANNEXE B-12

Quantité d'eau à appliquer et quand l'appliquer ?

La quantité d'eau à appliquer peut être déterminée en fonction du type de sol. Le tableau B-12.1 indique la capacité de rétention des différents types de sol et le tableau B-12.2 indique la profondeur d'enracinement des cultures; ces tableaux donnent des valeurs moyennes, des analyses de sols et des creusages périodiques près des plants peuvent fournir des indications plus précises. Ainsi il est possible de déterminer la quantité d'eau à appliquer par la formule suivante :

$$Q = Ret \; Pr \; 0,5$$

Q : quantité d'eau à appliquer, en millimètres d'eau;
Ret : capacité de rétention du sol, en millimètres d'eau par mètre de sol;
Pr : profondeur d'enracinement des cultures, en mètre.

Le facteur de 0,5 tient compte du fait que l'irrigation doit débuter lorsque la rétention d'eau dans le sol est à 50 % de sa capacité. Cette capacité de rétention peut être déterminée à l'aide de tensiomètres, appareils qui mesurent la tension du sol, en centibars.

Ainsi le système d'irrigation est déclenché lorsque le manomètre du tensiomètre indique environ : 35 pour les sols sableux, 45 pour les sols loameux et de 55 pour les sols argileux.

Source: Irrigation, dosage et moment d'application, Service du génie, par Jacques Gallichand et Yvon Brochu, décembre 1983.

Tableau B-12.1 Capacité de rétention de différents sols

Texture du sol	Capacité de rétention (mm d'eau/m de sol de profond)	
	Sans matière organique	Avec 5% de matière organique
Sable	45	161
Sable loameux	70	147
Loam sableux	98	146
Loam	137	165
Loam limoneux	206	230
Loam argileux	253	294
Argile sableuse	218	279
Argile	202	252

Tableau B-12.2 Profondeur d'enracinement de diverses cultures

Culture	Profondeur d'enracinement (mètres)
Betteraves	0,6 - 1,0
Carottes	0,5 - 1,0
Céleri	0,3 - 0,5
Fraises	0,3 - 0,5
Laitue	0,3 - 0,5
Luzerne	0,9 - 1,20
Maïs	0,6 - 1,20
Pommes de terre	0,6 - 1,20
Tabac	0,5 - 1,0
Tomates	0,7 - 1,5

CHAPITRE 13

TRAVERSE À GUÉ

TRAVERSE A GUÉ

Auteur: Régis Potvin, ingénieur

TABLE DES MATIERES

		PAGE
13.1	Domaine d'application	13-3
13.2	Définition	13-3
13.3	Préparation du projet	13-3
	13.3.1 Localisation	13-3
	13.3.2 Largeur et pente	13-3
	13.3.3 Coussin de support	13-4
	13.3.4 Protection en pierre	13-4
	13.3.5 Engazonnement	13-5
13.4	Sécurité des lieux	13-5
Figure 13.1	Aménagement d'une traverse à gué	13-6

13.0 TRAVERSE A GUÉ

13.1 DOMAINE D'APPLICATION

La traverse à gué constitue une alternative au pont pour traverser les cours d'eau. Elle peut être aménagée sur les cours d'eau de petite à grande importance. Dans plusieurs cas, elle s'avère une solution économique, tout en offrant un passage sécuritaire à ses usagers. Cependant, elle peut occasionner des problèmes de circulation au printemps ou en hiver.

13.2 DÉFINITION

Une traverse à gué est une structure aménagée sur un cours d'eau en vue de permettre le passage de l'outillage agricole. Elle consiste essentiellement en l'adoucissement des talus du cours d'eau et à la mise en place d'un coussin de support adapté à la capacité portante du sol.

13.3 PRÉPRATION DU PROJET

13.3.1 LOCALISATION

On doit éviter de localiser une traverse à gué au voisinage d'une courbe, d'un changement de pente, au confluent d'un cours d'eau plus important et partout où il y a un point bas du terrain afin de ne pas favoriser la réception des eaux de ruissellement et augmenter ainsi les risques d'érosion de la rampe.

13.3.2 LARGEUR ET PENTE

La largeur de la rampe doit avoir un minimum de 5 mètres et une pente maximale de 1:8.

13.3.3 COUSSIN ET SUPPORT

De façon générale, la consolidation de la rampe et du lit du cours d'eau s'effectue avec du gravier et de la pierre sur une épaisseur de 300 mm. La granulométrie du matériel est de 0 à 150 mm avec un D_{75} = 50 mm. Le matériel doit contenir un bon volume de grosses pierres tout en s'assurant que les vides sont comblés. La compaction des matériaux procure un fini soigné.

Lorsque le sol naturel offre une faible capacité portante, on peut augmenter l'épaisseur du coussin de support ou prévoir l'ajout d'un géotextile sous le coussin de support. Avant la consolidation du lit du cours d'eau, on procède à l'excavation d'une épaisseur de sol équivalente au coussin de support à aménager.

Dans tous les cas, la granulométrie proposée doit respecter les forces d'arrachement maximales pour un débit de pointe d'une récurrence donnée.

La consolidation de la rampe peut être également réalisée avec d'autres matériaux tels que dalles ou douves de béton, béton armé cannelé, grosses pierres enfoncées à l'aide d'une pelle hydraulique, matériaux géosynthétiques (geoweb, armater) associés avec de la pierre, etc.

13.3.4 PROTECTION EN PIERRES

A la base de l'intersection des talus du cours d'eau et de la rampe, un enrochement doit être aménagé. On

utilise de la pierre ayant un diamètre mininum de 150 mm sur une distance minimale d'un mètre dans les deux directions et jusqu'à la hauteur correspondante à celle des plus hautes eaux.

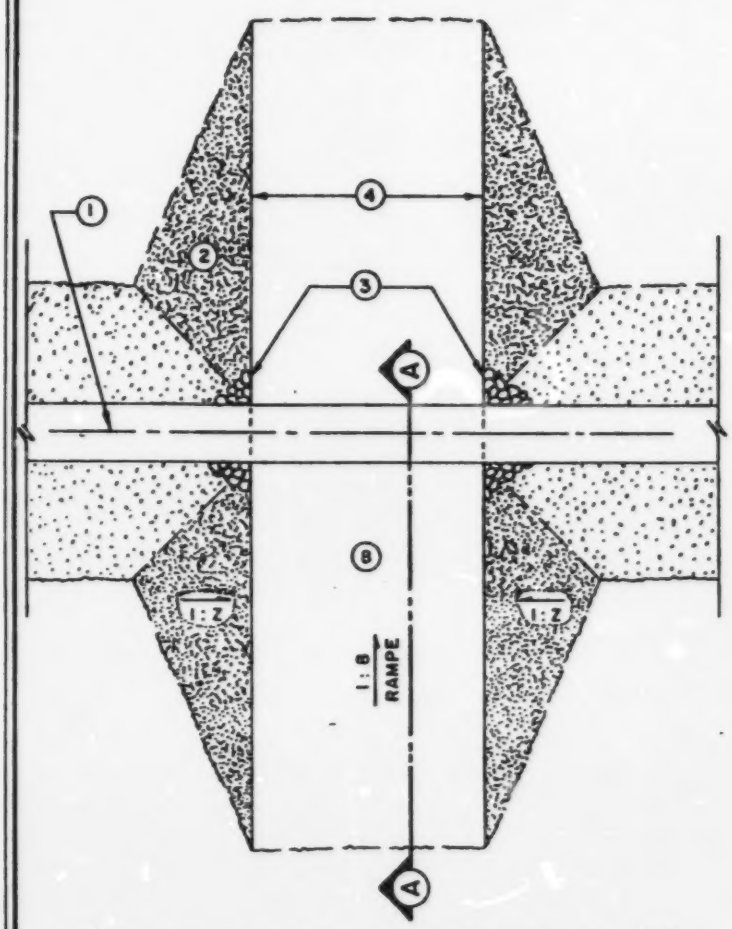
13.3.5 **ENGAZONNEMENT**

Tous les talus mis à nus doivent être engazonnés selon les recommandations énoncées au chapitre 5 du Guide d'analyse et d'aménagement des cours d'eau à des fins agricoles.

13.4 SÉCURITÉ DES LIEUX

Des dispositions doivent être prises pour assurer la sécurité des lieux (clôture, signalisation etc.).

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-



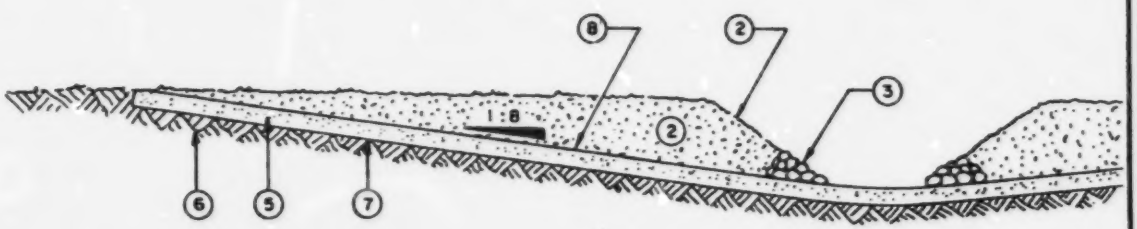
1. LIT DU COURS D'EAU
2. TALUS ENSEMENCÉ
3. PROTECTION AVEC DE LA PIERRE D'UN DIAMÈTRE MINIMUM DE 150 mm ø
4. LARGEUR DE LA DESCENTE 5 à 6 mètres.
5. LIT DE GRAVIER ET DE PIERRES D'UNE ÉPAISSEUR DE 300 mm MINIMUM COMPOSÉ D'UNE GRANULOMÉTRIE DE 0 à 150 mm AVEC UN D_{75} = 50 mm .
6. SOL ORIGINAL
7. MEMBRANE GÉOTEXTILE SI REQUISE
8. RAMPE D'ACCÈS, PENTE MAX. 1 : 8

NOTE :

LE CONCEPTEUR DEVRA TOUJOURS VÉRIFIER SI LA GRANULOMÉTRIE DU MATÉRIEL PROPOSÉ RESPECTE LES FORCES D'ARRACHEMENT MINIMALES LORS D'UN DÉBIT DE POINTE D'UNE RÉCURRENCE DONNÉE.

VUE EN PLAN DE LA TRAVERSE À GUÉ

échelle 1 : 150



COUPE PARTIELLE DE LA TRAVERSE À GUÉ

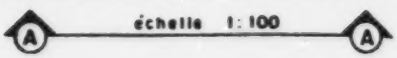


Figure 13.1 TRAVERSE À GUÉ D'UN COURS D'EAU.